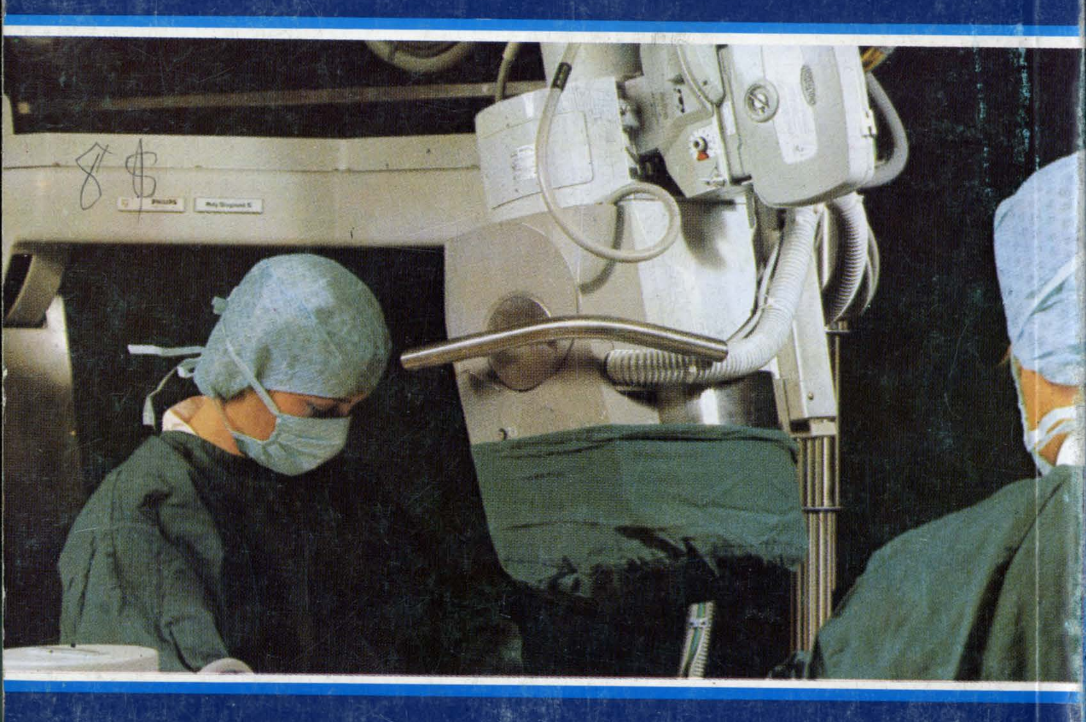
سلسلة الكتب العلمية الميسرة

د. محمود نصر الدين

الاشعة السينية وبعض تطبيقاتها



معهد الانماء العربي

الاشعة السينية

يقدم المؤلف في هذا الكتاب عرضا شاملا لماهية الاشعة السينية ولبعض استعمالاتها في شتى ميادين العلم والصناعة والزراعة اذ ان الاشعة السينية قدمت للعالم «عينا» مجهرية قادرة على التغلغل في المادة وتقديم صورة عن بنيتها الداخلية وقادرة على احداث بعض التغييرات في الخلايا الحية مما يحدد اوجه استعمالها وطرق الوقاية منها .

الدكتور محمود حسين نصر الدين

من مواليد لبنان ١٩٤٣ .

نال شهادة الاجازة بالفيزياء ، وشهادة الكفاءة من كلية التربية في الجامعة اللبنانية ، ودكتوراه دولة بعلم فيزياء الاجسام الصلبة من جامعة غرونوبل بفرنسا سنة ١٩٧٤ .

يعمل حالياً أستاذ في المواد المتخصصة بعلم فيزياء الاجسام الصلبة ورئيس لقسم الفيزياء بكلية العلوم بالجامعة اللبنانية .

له عدة أبحاث ومؤلفات ومقالات في مجالي الأجسام الصلبة والأشعة السينية نشرت في مجالات علمية عالمية .

الثمن ١٥ ل.ل. او ما يعادلها

معهد الانماء العربي

الاشعة السينية

وبعض تطبيقاتها

د. محمود نصر الدين

سلسلة الكتب العلمية الميسرة

الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٠

سلسلة الكتب العلمية الميسرة

معهد الانماء العربي
ص.ب ١٤/٥٣٠٠
بيروت

الهيئة القومية للبحث العلمي
ص.ب ٨٠٠٤ ـ طرابلس
الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية

هــذه السّــلسْلة

لمن توجه هذه الســلسلة؟

توجه هذه السلسلة الى القارىء العربي الحاصل على ثقافة علمية توازي في مستواها نهاية المرحلة الثانوية كحد أدنى. وتعرض فيها المفاهيم العلمية مبسطة بأسلوب واضح ودقيق تستعمل الرموز والمعادلات الرياضية عند اللزوم.

أهداف السلسلة:

تهدف هذه السلسلة أساسا الى تنمية الوعي العلمي عند المثقف العربي والى تمرسه بالتفكير العلمي الموضوعي وتشجيعه على تبني الوضعية العلمية تجاه طرح المسائل التي يصادفها مجتمعه ومنهجية حلها، هذا بالاضافة الى توفير الاطلاع على المعارف العلمية والتكنولوجية المعاصرة والمساهمة في تنمية الثقافة العلمية للانسان العربي واغناء المكتبة العربية بالكتاب العربي الرفيع المستوى.

مجالات السلسلة:

تتسع مجالات السلسلة لتشمل ميادين عديدة من المعارف العلميـة والتكنولوجية مع التركيز على بعض النقاط البارزة في مسار تطور المعرفة العلمية وتطبقاتها لخدمة الانسان والمجتمع. وتتوزع مواضيعها على مختلف

الفروع من علوم أساسية وهندسية وزراعية وتغذية وطب وصحة عامة وموارد طبيعية وعلوم بيئية وغيرها...

كتب السلسلة:

١ - في رحاب الكون
٢ - أشعة لايزر
٣ - السرطان
٤ - أساسيات علم هندسة الري
٥ - مبادىء الطاقة
٦ - الأرض وتكوينها
٧ - الغذاء والتغذية المتوازنة
٨ - أمراض الخضار وطرق مكافحتها
٩ - مبادىء تنظيم المدينة
١٠ - المواد المشعّة
١١ - الأشعة السينيّة وبعض تطبيقاتها
١٢ - الأمراض الطفيلية والفطرية عند الانسان

تقديم

أيها القارىء العربي العزيز .

هـذه السلسلـة ، الكتـب العلميـة الميسرة ، جزء من برنـامـج علمي وتكنولوجي يُشرف عليه معهد الانماء العربي ، هذه المؤسسة العلمية التي اراد لها مؤسسوها ـ ونأمل ان نكون قد نجحنا في ذلك ـ ان تكون المؤسسة العلمية العربية ذات الابعاد القومية والحضارية .

لقد كان للامة العربية منذ قرون خلت دور اساسي في الابداع العلمي ، وكانت المؤسسات الحضارية العربية تشع العلم والمعرفة في كل مكان .

لكن الاسس الفكريـة والاجتماعيـة والاقتصاديـة الـتي ارتكز عليهـا البنيان الحضاري العربي الاسلامي ما لبثت ان تزعزعت تحت ضربات الغزو الخارجي والتناقضات الداخلية فخسر الوطن العربي ما بناه من صروح علمية ومعرفية وانقطع عن التقدم قرابة الخمسة قرون .

ان على الامة العربية ان تستعيد مقامها في الحضارة الانسانية ، وان تشارك في بنائها عن طريق بناء ذاتها .

ولن يتسنى الارتقاء الى مستوى الحضارة الحديثة وتحدياتها ما لم تسع المجتمعات العربية الى ركب الفكر العلمي بعد الانقطاع الطويل عنه ، وذلك عبر تفجير الطاقات الكامنة في الانسان العربي وترسيخ الروح

العلمية الاصيلة في صميم الوجدان العربي .

من هنا تأتي الفلسفة من وراء انشاء مؤسسة علمية عربية كمعهد الانماء العربي ، الذي بنيت اهدافه وطموحاته حول بناء مستقبل عربي افضل ، عبر السبيل الاكيد ؛ سبيل العلوم في مختلف مجالاتها الحضارية والانسانية ، والتكنولوجيا بتعدد مناحيها وتطوراتها .

ونحن في هذه السلسلة ، نستهدف المساهمة في نشر الوعي العلمي والتكنولوجي بين الجماهير العربية ، ومن ثم المساهمة في النهضة الحضارية العربية علميا وتكنولوجيا ، ومواكبة المسيرة الحضارية العلمية . تهدف السلسلة ايضا ـ ولو بشكل متواضع ـ الى احياء الامكانات الكامنة في اللغة العربية عن طريق خلق قوالب لغوية عربية تتناسب.ودقة التفكير العلمي ، وتشجيع الباحثين العرب على التعبير العلمي باللغة العربية وإتساع اساليب المعالجة والتفكير العلمي في الثقافة العربية . نأمل ايضا ان نُساهم في اغناء المكتبة العربية بالكتاب العلمي الميسر الذي يقدم الى القارىء العربي احدث التطورات العلمية والتكنولوجية في اسلوب مبسط ميسر ، لا يرقى الى مستوى التخصص الدقيق ، ولكن دون ان يصل الى درجة من التبسيط تفقد المادة العلمية دقتها واصالتها .

والله الموفق

د . علي بن الاشهر
مدير عام/ معهد الانماء العربي

مقـــدّمة

لم تنحصر اهمية اكتشاف الاشعة السينية بالتطبيقات العملية التي ادت اليها فحسب بل تعدتها الى التأثيرات النظرية التي احدثتها في مجمل العلوم الفيزيائية. ففي نهاية القرن التاسع عشر كان كبار الفيزيائيين يعتقدون بانهم يعرفون كل ما يمكن معرفته وان مهمة الاجيال اللاحقة ستنحصر في تحسين دقة القياسات. ولكن متابعة الابحاث وتراكم نتائجها اديا الى تداعي كثير من المفاهيم الفيزيائية لتبدأ مع بداية القرن العشرين فيزياء جديدة.

صرّح العـالم الكبـير لورنتز (Lorentz) مرة (اواخر القرن التـاسع عشر): «لقد فقدت الثقة بأن عملي العلمي يؤدي الى الحقيقة الموضوعية ولست اعرف لماذا عشت. واني لآسف فقط لأني لم امت منذ خمس سنوات عندما كان كل شيء يبدو لي واضحاً». ولورنتز هو صاحب المعادلات المعروفة في ميدان الموجات الكهرمغناطيسية التي شكلت، مع غيرها، المنطلق النظري لعمل اينشتاين الجبار حول قوانين النسبية.

لقد ساهمت الاشعة السينية سواء بالابحاث التي جرت حولها او بتلك التي جرت بواسطتها في حل كثير من المعضلات التي يواجهها العلم. فاثناء دراسة الفلورة التي تحدثها الاشعة السينية في بعض مركبات الاورانيوم استطاع بكرال (Becquerel) بشيء من الصدفة اكتشاف النشاط الاشعاعي في مركبات الاورانيوم هذه.. فكان اكتشافه اللبنة الاولى في بناء صرح

الفيزياء والكيمياء النووية. وبواسطة الاشعة السينية استطاع لاو (Laue) ان يبرهن على وجود تناظر معين في بعض الاجسام الصلبة وان يخطو الخطوة الاولى في طريق ارساء دعائم ميدان علم جديد هو فيزياء وكيمياء الاجسام الصلبة.

وتميز القرن العشرون بتوجه البحث العلمي نحو دراسة التركيب الداخلي للمادة (البلوريات والاجسام الصلبة بشكل عام، السوائل، الخلايا الحية، الجزيئات والذرات الخ...) وذلك من اجل ان يتمكن الانسان من استعمال خصائص هذا التركيب الداخلي للمادة.

وبين التقنيات التي تستعمل في هذا المجال تحتل الاشعة السينية مركزا مرموقا إذ دخلت مختبرات الفيزيائيين والكيميائيين والبيولوجيين والصناعيين والاطباء ودارسي اللوحات الفنية... الخ. ولن يكون بوسع مؤلف واحد، مهما عظمت خبرته، ان يفي دراسة الاشعة السينية حقها. والعمل الجماعي بين فريق من الاختصاصيين خير وسيلة للاحاطة التامة بكل اوجه استعمال هذه الاشعة.

سنحاول في هذا الكتاب ان نعرض بايجاز كيفية استخدام الاشعة السينية في بعض الميادين التي ذكرناها اعلاه. وسنبذل قصارى جهدنا حتى لا يصبح الايجاز عقبة امام توضيح الفكرة الاساسية.

فالهدف الاساسي هو ايصال اكبر كمية ممكنة من المعلومات الى اكبر عدد ممكن من القراء. وهذا ما يستدعي، في بعض الاحيان، التذكير ببعض المبادىء والقوانين العلمية حتى يسهل على القارىء وضع الفكرة في سياقها الصحيح وحتى لا يتحول الكتاب الى مجموعة معلومات مجتزأة لا تفي بالغرض المطلوب.

بيروت - صيف ١٩٧٩

الفصل الاول
طبيعة الأشعة السينية

١.١ ـ اكتشاف الاشعة السينية

في الثامن من شهر تشرين الثاني (نوفمبر) ١٨٩٥ كان رونتغن (Röntgen) استاذ الفيزياء في جامعة فورزبرغ (Würzburg) يصل الى وشيعة التحريض قطبين معدنيين موجودين في زجاجة أفرغ الهواء منها. وكان من الممكن ان تجري هذه التجربة في أي مختبر آخر لان فيزيائيي تلك الايام كانوا شديدي الاهتمام بدراسة انتقال الكهرباء تحت توتر مرتفع وفي زجاجات سحب القسم الاكبر من هوائها. ففي عام ١٧٨٥ استطاع (Morgan) مورغان الحصول على فراغ شبه تام بحيث أصبح انتقال الكهرباء في الوعاء الزجاجي شبه مستحيل: من الممكن ان يكون قد حصل يومها على اشعة سينية دون ان يدري ذلك.

في ١٨٥٩ استطاع «بلوكر» (Plucker) كما استطاع هيتورف (Hittorf) في ١٨٦٩ البرهان على أن انتقال الكهرباء داخل زجاجة شبه مفرغة (اي في الغاز تحت ضغط منخفض جداً) يقترن بظهور اشعة «مهبطية» يصدرها القطب السالب او المهبط. هذه الاشعة تنساب بخط مستقيم. ولقد برهن وليم كروكس (W. Crookes) عام ١٨٧٩، بعد تجارب دامت ست سنوات، أن هذه الاشعة تنحرف تحت تأثير حقل كهربائي او

حقل مغناطيسي مما يدل على أنها مؤلفة من حبيبات مشحونة كهربائيا ، دعيت فيما بعد بالكهيربات .

هذا ما كانت عليه حال العلم عندما قام رونتغن بتجربته التاريخية التي كان يسعى من ورائها الى دراسة هذه الاشعة المهبطية ومعرفة طبيعتها . ولما كان مهتما بالفلورة التي تحدثها هذه « الاشعة » عند التقائها بالجدران الزجاجية للانبوبة فقد غطى الانبوبة بالورق الاسود .

وفي الغرفة ، غرفة المخبر ، التي اصبحت مظلمة استطاعت عينا رونتغن ، بشيء من الدهشة ، رؤية لوحة معدنية معينة موجودة على مسافة غير بعيدة من انبوبة كروكس وقد اصبحت شديدة اللمعان . وهذا ما حدا به للاستنتاج ، وعن حق ، بأن الانبوبة تبعث اشعاعا غير مرئي اخترق الاوراق السوداء واحدث الفلورة في اللوحة المعدنية .

وبعد ستة اسابيع من الدراسة المعمّقة ، اعلن الفيزيائي غير المعروف كثيرا حتى ذلك الوقت ، رونتغن ، خلال شهر كانون الاول (ديسمبر) من العام نفسه وفي الجمعية الفيزيائية والطبية في مدينة فورزبرغ «Würzburg» انه اكتشف اشعاعا جديدا يمتاز بقدرة على اختراق الاجسام ويتيح الحصول على صور من خلالها . وقد سماها بالاشعة السينية (x rays) نظرا لأن حرف x يعني عادة المجهول في المعادلات الجبرية ، والاشعة مجهولة الطبيعة ولذا سماها اشعة اكس .

وفي اقل من شهر اصبحت الاشعة السينية معروفةً وعمد الكثيرون من العاملين في هذا الحقل الى الحصول عليها لدراستها وتفسير ظاهرة توليدها .

ولكن اكتشاف رونتغن (Röntgen) لم يقابل دائما بالاقتناع التام بل تعرّض لكثير من الانتقادات والاحتجاجات النابعة في اكثر الاحيان عن حسد او عن موقف سياسي من الفيزيائي رونتغن . فالبعض قال بان الاكتشاف، وإن كان قد حصل فعلا ، فهو ثمرة الصدفة ولا يمكن بأي حال

الدفاع عنه. وهكذا فإن عالما مشهورا مثل لنارد (Lenard) لم يلبث بعد أن كان مقتنعاً تمام الاقتناع بالاكتشاف ان انقلب على رونتغن وبدأ بمهاجمته ومهاجمة اكتشافه للاشعة السينية بقسوة وحدّة وذلك، كما هو ثابت تاريخيا، بعد أن ألّبه هتلر ودفعه إلى اتخاذ هذا الموقف.

لم يكن هذا الاكتشاف ارفع واجدى اعمال رونتغن العلمية فقط وانما كان ثمرة قرنين من البحث العلمي قام خلالهما العديد من العلماء بالعديد من التجارب التي ساهمت في بناء القواعد الصحيحة لعلمنا الحاضر.

ولقد تطورت في ميادين مختلفة، وبشكل مستقل، تقنيات ونظريات جديدة: تقنية الفراغ شبه التام، الكهرباء، الموجات الكهرمغناطيسية، الضوء، البصريات، الفلورة، التصوير وغيرها من الظواهر الفيزيائية والكيميائية. كل هذه الاكتشافات قادت وجعلت من الممكن اكتشاف الاشعة السينية بالطريقة التي وصفنا آنفا.

وتجدر الملاحظة الى انه خلال الاجتماع التاريخي الذي عقدته الجمعية الفيزيائية والطبية في فورزبورغ والذي عرض خلاله رونتغن اكتشافه واظهر الفلورة على اللوحة المعدنية التي بحوزته، نوّه المكتشف بأن الاشعة السينية قادرة على اختراق الاجسام، كما فعلت باختراقها الورقة السوداء المحيطة بالانبوبة قبل الوصول للوحة المعدنية. وهذا ما جعل العالم الطبيب فان كوليكر V. Kölliker يطلب تصوير يده بالاشعة الجديدة فكان له ما أراد اثناء عقد الاجتماع. وقد تم تظهير الصورة بسرعة واستطاع الحضور مشاهدة النتيجة المذهلة اذ ظهرت عظام اليد فقط. وهكذا تمت أول عملية تصوير بالأشعة السينية والاكتشاف ما يزال في يومه الاول. ويستطيع القارىء تصور السرعة المذهلة التي سارت عليها الامور فيما بعد وكيف تم تطور استعمال هذه العين الخارقة التي تستطيع اختراق جسم الانسان وتصوير داخله.

وهكذا أمام روعة النتيجة التي حصل عليها، وقف فان كوليكر، في

القاعة وطالب ، بكثير من الحماس ، بان تسمى هذه الاشعة بعد ذلك اليوم باشعة رونتغن وهذا ما هو معتمد في بعض البلدان كألمانيا مثلا . ولكن اسم أشعة اكس (الاشعة السينية) هو الاسم الاكثر استعمالا وبشكل خاص في المؤلفات الفرنسية والانكلوسكسونية .

١ . ٢ - ماهية الاشعة السينية

استطاع الانسان منذ القدم أن يثبت بان الضوء ينساب بخط مستقيم داخل مكان معين وينعكس على المرآة حسب قوانين ثابتة وينكسر اذا ما انتقل من جسم الى جسم ، حسب قوانين ثابتة ايضا . وقد ساعد اكتشاف هذه القوانين على ارساء قواعد علم مهم، الا وهو علم البصريات الهندسية الذي ساهم مساهمة فعالة في دفع عجلة التقدم العلمي والتقني للانسان ، فتمت بفضله منذ قرون ، صناعة العدسات والمرايا والميكروسكوب واجهزة رصد النجوم .. الخ . وبقيت هذه القوانين وهذه الصناعة حتى اليوم؛ مما يعني ان ملاحظات الانسان الآنفة الذكر تشكل تقريباً (approximation) حسن الدقة للحقيقة المطلقة .

ولم يطرح الفيزيائيون السؤال الكبير عن طبيعة هذا الضوء إلا بعد أن بدأت بعض الملاحظات الجديدة تتناقض مع القوانين المذكورة اعلاه . فلما تبين للباحثين ان الضوء اذا مر عبر فتحة صغيرة ينتشر عند خروجه منها وكأن الفتحة هي مصدر الضوء عرفوا ان قانون الانسياب بخط مستقيم هو قانون قد يكون صحيحا وكافيا في بعض الميادين والتجارب ولكنه بالتأكيد قاصر عن تفسير كل الظواهر .

وبعد دراسة معمقة لكل خصائص الضوء ، اضطر الباحثون للتعلق بفرضية جديدة تقضي بأن الضوء هو عبارة عن موجة تنساب في المكان دون ان يكون بالامكان تحديدها بنقطة وأن طول هذه الموجة (او ذبذبتها) يحدد لون الضوء . ولقد حال توزع الموجة في المكان وانتشارها دون حصر الطاقة بنقطة معينة ممّا جعل تفسير الظاهرة الضوكهربائية صعباً .

اذا ارسلنا ضوءًا الى مادة صلبة فمن الممكن، في بعض الحالات، ان يحرر الضوء كهيربا من الجسم الصلب. وهذا يعني ان الضوء حمل معه طاقة كافية لسلخ الكهيرب عن الذرة. ومن الضروري ان تكون هذه الطاقة محصورة في مكان صغير (هو حجم الكهيرب)، وهذا ما يتناقض مع الطبيعة الموجية للضوء.

وحدت هذه الظاهرة الفيزيائيين على طرح فرضية جديدة تقضي بأن الطاقة لا تنساب مع الضوء بشكل مستمر وغير متقطع وبأن الضوء مؤلف من حبيبات ضوء، يسمّى واحدها فوتون (photon)، تحمل الطاقة. وفي وسع هذه الفرضية تفسير ظاهرة الضوكهربائية، ولكنها لا تستطيع تفسير ظواهر اخرى كالحيود مثلا. بينما تستطيع فرضية الطبيعة الموجية للضوء تفسير ظاهرة الحيود وتعجز عن تفسير ظاهرة (compton) او ظاهرة الضوكهربائية. وهذا يعني ان الفرضيتين هما وجهان لحقيقة واحدة وأنه يحسن استعمال هذا الوجه او الآخر حسب ميدان العمل. وهذا ما حدا الفيزيائي الفرنسي دوبرويل (De Broglie) للقول: «الموجات والجسيمات متصلة اتصالا وثيقا وفي الطبيعة وعلى الاقل في حالة الضوء».

للضوء اذن طبيعة موجية وموجته كهرمغناطيسية يمكن تمييزها بطول الموجة λ او بذبذبتها. تجدر الملاحظة الى ان طول الموجة يساوي حاصل قسمة سرعة الضوء C بالذبذبة N:

$$\lambda = \frac{C}{N}$$

ان الجسم المضيء الذي يرسل ضوءًا ما ذا ذبذبة معينة يستطيع أن يمتص ضوءا له نفس الذبذبة. وهذا ما دفع الفيزيائي (Planck) بلانك للقول **بأن الطاقة المنبعثة مع الضوء او الممتصة لا يمكن ان تتغير الا بكميات متقطعة.** واصغر كمية طاقة او حبيبة طاقة تساوي حاصل ضرب ذبذبة **الموجة بثابت دائم ثابت بلانك.**

$$E = hN$$

وللاشعة السينية نفس طبيعة الضوء. اي انها موجة كهرمغناطيسية تختلف عن موجة الضوء المرئي بطول الموجة فقط، إذ أن ذبذبة أي اشعة سينية اعلى من ذبذبة الضوء المرئي، وبالتالي فان الطاقة التي تحملها اكبر من تلك التي يحملها اي ضوء مرئي. وتجدر الملاحظة الى ان كل ما قيل حول ازدواجية طبيعة الضوء (موجية وجسيمية) يبقى صحيحا في ميدان الاشعة السينية.

ان كل قوانين البصريات الهندسية والبصريات الفيزيائية تسري على الاشعة السينية مع بعض المميزات الخاصة والمتعلقة بتعامل الاشعة السينية مع المادة نظرا لقصر طول الموجة «وضخامة» كمية الطاقة التي يحملها الفوتون السيني نسبياً: فطول الموجة السينية يوازي تقريبا قطر الذرة من ناحية والمسافات بين الذرات المتواجدة في المادة الصلبة، من ناحية ثانية. والطاقة التي تحملها حبيبة س موازية للطاقة اللازمة لاستخراج كهيرب من الطبقات الداخلية في الذرة، بينما الطاقة التي تحملها حبيبة الضوء العادي (الفوتون) توازي الطاقة اللازمة لفصل كهيرب من الطبقات الخارجية.

وتجدر الملاحظة الى أن مسار الاشعة السينية لا ينكسر عمليا عند مروره من مادة الى مادة أخرى، كما هو الحال بالنسبة للضوء المرئي. وهذا يعني انه لا يمكن صناعة عدسات خاصة بالاشعة السينية.

وبالرغم من الكثير من الصعوبات فقد استطاع العلماء صناعة مرايا عاكسة للاشعة السينية. وقد استخدمت هذه المرايا في ميادين عديدة خاصة في الميادين التي تحتاج لحصر كمية كبيرة من الضوء السيني في مساحة متناهية الصغر.

ان طول موجة الاشعة السينية اقصر بكثير من طول موجة اي أشعة مرئية. وسنرى، عند الحديث عن كيفية الحصول على الاشعة السينية، ان طول موجة الاشعة السينية يختلف حسب طبيعة معدن المهبط.

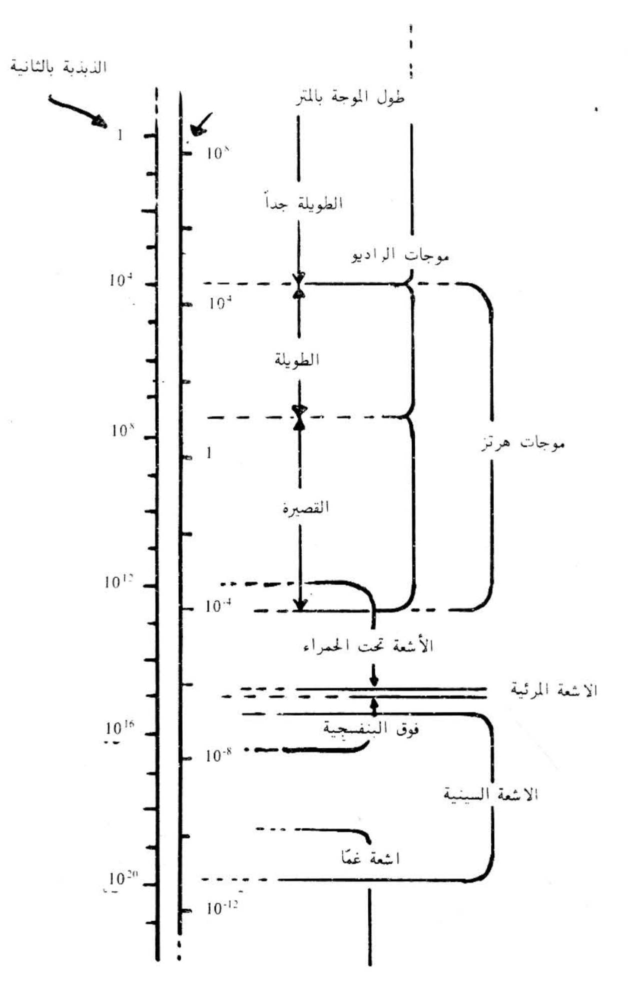
والصورة رقم (١ ـ ١) تبين لنا موقع هذه الاشعة من بقية الاشعاعات المعروفة حتى الآن (الضوء ـ موجات الراديو ـ الاشعاعات الذرية). وتجدر الاشارة الى ان وحدة قياس الطول المستعملة في هذا الميدان هي الانغشتروم (Angstrom: Å) والتي تساوي جزءاً من مئة مليون من السنتمتر.

ان التشابه، من حيث الطبيعة، بين الضوء وبين الاشعة السينية، والفارق بينهما من حيث طول الموجة، طرحا بسرعة امكانية استعمال هذه الاشعة الجديدة لفحص ودراسة الاجسام المتناهية الصغر وخاصة الذرات والجزيئات حيث ان طول موجة الاشعة السينية يوازي تقريبا قطر الذرة، ولكن عند الشروع بدراسة تركيب الاجسام الصلبة بهذه الطريقة يجب أخذ كل الاحتياطات اللازمة لتفسير نتائج التجارب تفسيرا صحيحا.

١.٣ ـ خصائص الاشعة السينية:

يستطيع القارىء ان يستنتج مما سبق بعض خصائص الاشعة السينية ولكن من اجل حصر أهم هذه الخصائص يمكننا ذكر تلك التي ساهمت في توضيح طبيعتها وفي تطور استعمالها في شتى الميادين.

- الاشعة السينية تنساب بخط مستقيم وبسرعة مساوية لسرعة الضوء.
- لا تتأثر بوجود حقل مغناطيسي او حقل كهربائي وهذا ما يدل على انها لا تحمل اي شحنة كهربائية.
- يتغير طول موجة الاشعة السينية، بحسب طبيعة معدن المهبط، بين جزء من الف من الأنغشتروم Å وبين الف انغشتروم $1000\ \mathring{A} > \lambda > 0{,}001\ \mathring{A}$.
- تؤثر على افلام التصوير
- تسبب فلورة او فسفرة بعض الاجسام.



الموجات الكهرمغناطيسية

صورة رقم ١ ـ ١

ـ لها تأثير ضوكيميائي .

ـ تستطيع جرح او قتل الخلايا الحية واحيانا احداث تغيرات عضوية فيها .

ـ تتمتع ، كالضوء ، بازدواجية الطبيعة بحيث انها تبدو ، في بعض الميادين ، كالموجة (الحيود مثلا) وفي بعضها الآخر كمجموعة حبيبات طاقة قادرة على تحرير كهيرب أو أكثر في بعض الاجسام الصلبة محدثة بذلك تيارا كهربائيا .

ان تنوع هذه الخصائص ، الى جانب تلك التي لم تذكر هنا ، اوجد العديد من التطبيقات المهمة . ويكفي ان نذكر على سبيل المثال الخدمات الجلى التي تقدمها الاشعة السينية في ميادين التصوير الطبي وفي ميدان دراسة تكوين الاجسام الصلبة وكيفية ترتيب الذرات داخلها . ونستطيع القول بان عدداً من هذه التطبيقات يدخل في ميادين الفيزياء والكيمياء والهندسة والطب والصناعة . ان السير نحو توحيد النظرية العلمية عند الانسان يلاحظ بشكل واضح من تطور الابحاث الاساسية في ميدان الاشعة السينية . فالفيزيائي الذي يستعمل الأشعة السينية في ميدان الاجسام الصلبة مضطر للالمام بالكثير من النظريات الكيميائية خاصة فيما يتعلق بطبيعة الرباط بين الذرات داخل الجسم الصلب وبالتالي كمية الشحنة الكهربائية (او عدد الكهيربات) المركزة في كل ذرة . وسنتطرق قبل البحث في انواع الاشعة السينية وطرق الحصول عليها إلى دراسة التركيب الذري للأجسام .

١.٤ ـ التركيب الذري للاجسام

في عالمنا أعداد هائلة من المواد المختلفة تركيبا ، شكلا وخواص . واذا ما حصرنا نظرتنا بالمواد غير العضوية ، كالغازات والسوائل والاجسام الصلبة ، نرى انه من الصعب ضغط الاجسام الصلبة والسائلة ولكن من السهل جدا ضغط اي غاز . وهذا يعني ان المادة التي تؤلف الغاز غير مكثفة وانه قد توجد بعض الفراغات داخل الغاز كما قد توجد داخل اي مادة سائلة او صلبة .

اذن ما هي الوحدة التي تؤلف المادة؟

انه لمن اليسير حاليا الاجابة على هذا السؤال الاساسي والمهم :

يوجد في كل مادة وحدة متناهية الصغر تسمى جزيء وهذا الجزيء يتألف من وحدات اصغر منها تسمى كل وحدة ذرة .

ممّ تتكون الذرة؟

من المعروف جيدا اليوم ان الذرة مؤلفة من نواة تدور حولها مجموعة من الكهيربات المشحونة بالكهرباء السالبة . اما النواة فتتكون بشكل اساسي ، من نوترونات غير مشحونة بالكهرباء ومن بروتونات مشحونة بالكهرباء الموجبة . وتجدر الاشارة الى أمرين :

اولا : ان كمية الكهرباء المشحونة في البروتون تساوي شحنة الكهيرب .

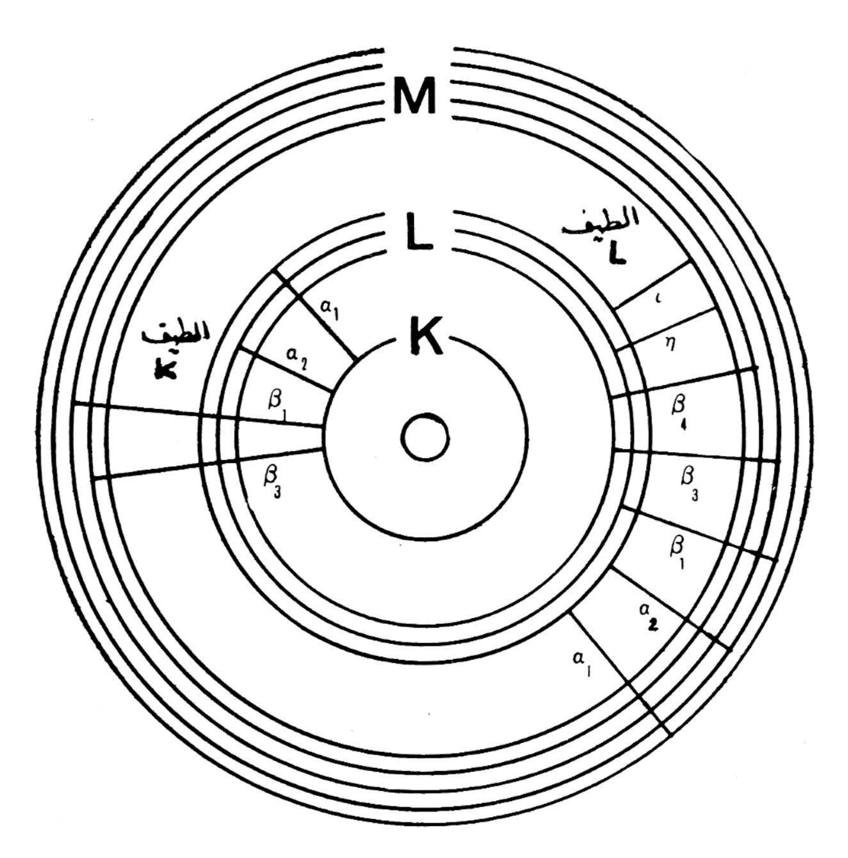
ثانيا : ان عدد بروتونات النواة **يساوي** عدد الكهيربات التي تدور حول النواة . وهذا يعني ان الذرة ، اذا ما اخذت كوحدة متكاملة لا تحمل اي شحنة كهربائية .

ولكل كهيرب يدور حول النواة ، مسار مستقل عن بقية الكهيربات وهذا المسار مميز ويحدده الفيزيائيون بارقام خاصة يمكن للقارىء مراجعتها ، للمزيد من المعلومات ، في اي كتاب يدرس الفيزياء الذرية . ولتبسيط الصورة يمكن القول بأن الكهيربات موجودة في طبقات يشار اليها عادة بالاحرف اللاتينية :

K L M ...

الطبقة K هي الاقرب للنواة ثم تأتي بعدها L ثم M وهكذا دواليك أنظر الصورة رقم (١ - ٢) .

وكل مسار مخصص لمستوى طاقة معين . اي ان المسار الاقرب للنواة له مستوى طاقة اقل من مستوى طاقة المسار الذي يليه . وهذا يعني انه عند انتقال كهيرب من مسار الى مسار آخر يجب ان تتغير طاقته خسارة او ربحا حسب موقع المسار الاساسي من المسار النهائي . وغالبا ما تتجلى هذه



صورة رقم ١ ـ ٢

Spectres des rayons X:

K et L

الخسارة في الطاقة باطلاقها الى خارج الذرة تحت شكل « حبيبة طاقة » أو « حبيبة ضوء ».

وهذا ما سنعود اليه بعد قليل.

ان وزن الكهيرب ضئيل جدا بالنسبة لوزن البروتون ولكن وزن النوترون يساوي وزن البروتون.

وعدد البروتونات (أو الكهيربات) ويشار اليه عادة بحرف Z الذي يحدد نوعية الذرة. وهذا العدد يسمى العدد الذري.

اما الوزن الذري A فهو حاصل مجموع البروتونات والنترونات. وذلك يعود الى أن وزن الذرة مكون، الى حد كبير، من وزن البروتونات والنترونات «الثقيلة» بالنسبة لوزن الكهيرب كما اشرنا اعلاه.

واختلاف عدد النترونات بين ذرة حديد وذرة حديد اخرى مثلا هو السبب في وجود عدة نظائر للجسم الواحد وهو السبب في وجود النظائر المشعة بشكل خاص.

٥.١ ـ انواع الاشعة السينية

هناك نوعان من الاشعة السينية يمكن الحصول عليهما الآن. والتفريق بين هذين النوعين يعود، بشكل اساسي، الى طريقة الحصول على كل منهما:

١ ـ الاشعة السينية «البيضاء» او الطيف غير المتقطع. وكلمة بيضاء لا تعني هنا اللون الابيض وانما تعني احتواء هذا الطيف على اشعة سينية مختلفة الذبذبة وطول الموجة. اي اننا نجد في هذا الطيف كل الموجات الممكن تصورها ضمن حدين ادنى او اعلى لطول الموجة:

$$\lambda_m \leqslant \lambda \leqslant \lambda_M$$

٢ ـ الاشعة السينية الخاصة بكل معدن والمكونة من عدة اضواء، كل واحد منها احادي طول الموجة، تجتمع في عدة مجموعات. وطول موجة كل ضوء منها يتعلق، حسب قانون سنراه فيما بعد، بالعدد الذري للعنصر المادي الذي ولّده.

يمكن الحصول على «الطيف الابيض» بإخضاع انبوبة الاشعة السينية لتوتر منخفض نسبيا. واذا ما اتخذنا بعض الاحتياطات المبنية على دراسة

قيمة التوتر وطبيعة المعدن الموجود في المصعد يمكن الحصول على هذا الطيف الابيض دون ان يمزج بالاشعة السينية الخاصة بنوع المصعد (اي النوع الثاني من الاشعة السينية).

ولهذه الاشعة البيضاء خاصة مهمة: فاذا عمدنا الى اجراء رسم بياني لشدة الضوء بالنسبة لطول الموجة وجدنا ان الشدة تنعدم تحت طول موجة معين اسميناه λ_m. وطول الموجة هذا لا يتعلق مطلقا بنوع العنصر المادي المكون للمصعد (Anode) وانما يتعلق بقيمة التوتر الكهربائي المسلط على انبوبة الاشعة السينية. واول من طبق قانون علاقة λ_m بالتوتر الكهربائي هما العالمان ديان (Duane) وهونت (Hunt) وكان ذلك في سنة ١٩١٤.

وكمثال على ذلك وبواسطة توتر كهربائي يساوي ٣٠٠ ٠٠٠ فولت يمكن الحصول على اشعة سينية يساوي الطول الادنى للموجة فيها خمسة اجزاء من الف من الانغشتروم:

$$\lambda = 0,005 \overset{0}{A}$$

والتوتر المشار اليه اعلاه يستعمل للحصول على اشعة سينية تستخدم في معالجة الاقسام الداخلية من جسم الانسان لان الاشعة ذات الموجة المتناهية القصر تملك قدرة كبيرة على الاختراق.

وبالرغم من ان الطول الادنى للموجة السينية لا يتعلق بطبيعة المهبط فان الشدة الاجمالية للطيف، الممكن الحصول عليها تحت توتر كهربائي ثابت، ترتكز على العدد الذري للعنصر المكون للمصعد.

وتجدر الاشارة الى ان كيفية انطلاق هذه الاشعة العامة (او البيضاء) لم تحظ حتى يومنا هذا بتفسير دقيق. ولكن يمكن القول بان هذا الطيف ينتج عن تغير مسار الكهيربات المنطلقة من المهبط تحت تأثير الحقول المغناطيسية والكهربائية بالقرب من نواة الذرات في المصعد.

من المعروف جيدا ان الكهيرب المنطلق من المهبط يكتسب طاقة

حركية تساوي حاصل ضرب قيمة التوتر بشحنة الكهيرب الكهربائية. والتوقف الكامل والسريع للكهيرب عند دخوله في مادة المصعد يحول هذه الطاقة الحركية الى اشعاعات. وكلما كان التوقف سريعا كانت ذبذبة الاشعة المنبعثة مرتفعة. والتوقف الكلي للكهيرب عند اول اصطدام بذرة من ذرات المصعد يعطي الاشعة ذات الذبذبة الاكثر ارتفاعا او طول الموجة الاقصر وهي الموجة التي ذكرنا آنفا والتي اسميناها λ_m.

وهذه الاشعة العامة ذات اهمية بالغة. فهي التي استعملت في الماضي لدراسة البلوريات في فيزياء وكيمياء الاجسام الصلبة بطريقة لاو (Laue). وهي التي تستعمل في الطب للمعالجة بالاشعة السينية وللتصوير بالاشعة.

اما النوع الثاني من الاشعة السينية فنحصل عليه، الى جانب النوع الاول الذي وصفناه اعلاه. ولكن طول الموجة التي نحصل عليها لا يتغير بتغير قيمة التوتر العالي، وذلك لانه خاص بالعنصر المادي المكون لمعدن المصعد. فاذا اجرينا رسما بيانيا لتغيّر الشدة الضوئية بتغير طول الموجة، وجدنا، انه تبرز الى جانب الطيف الابيض، حزمات اشعة احادية اللون شديدة الضوء نسبيا. وهذه الحزم هي التي وصفنا بالاشعة السينية الخاصة بالعنصر المعدني.

ويمكن جمع هذه الحزم في مجموعات يطلق عليها اسم

K, L, M, N, 0...

والمجموعة K هي التي تحوي الاشعة ذات الموجة الاقصر، أي الأكثر قدرة على اختراق المادة.

كيف يتم اصدار هذه الاشعة؟

١. ٦ - قانون موزلي Moseley's Law

عندما ينطلق الكهيرب من المهبط، يكتسب، كما قلنا، طاقة حركية تخوله (في بعض الاحيان) قذف كهيرب من طبقة ما من طبقات احدى

الذرات المكونة للمصعد. وهذا يعني ان احدى الطبقات الداخلية للذرة اصبحت غير متوازنة وفارغة جزئيا، مما يدفع كهيربا يحتل مسارا في طبقة اخرى، ابعد من الطبقة الناقصة بالنسبة للنواة، للنزول الى الطبقة الاقرب للنواة لملء الفراغ. ويعني أيضاً ان كهيربا يترك مسارا ذا مستوى طاقة معين ليحتل مسارا ذا مستوى طاقة ادنى. والفرق بين طاقتي المستويين يتحول الى اشعة سينية.

ان طول موجة الاشعة السينية المنبعثة بهذه الطريقة يتعلق بالفرق بين طاقتي المستوى الاساسي للكهيرب والمستوى النهائي له.

واذا كان الكهيرب الذي قذف خارج الذرة منتميا للطبقة K سُميت الاشعة المنبعثة بهذا الاسم. واذا كان ينتمي للطبقة L اسميت الأشعة ايضا بهذا الاسم. وهذا يعني ان الحزمة K تحتوي على اشعة طول موجتها يتعلق بفرق الطاقة بين الطبقة M والطبقة K وعلى اشعة طول موجتها تتعلق بفرق الطاقة بين الطبقة L والطبقة K وهكذا دواليك. أنظر الصورة رقم (١ - ٢).

والفرق بين طاقة L وطاقة K يختلف بين ذرة معدن وذرة معدن آخر، بين عنصر وعنصر آخر، مما يعني ان الحزمه K تختلف من عنصر الى عنصر آخر وانه من الممكن الاسترشاد لطبيعة معدن المصعد اذا ما استطعنا قياس طول موجة الاشعة السينية المنبعثة منه. فالموجة الاقصر هي K والتي تليها هي L ... الخ.. ومجموع الحزم K و L و M ... الخ ترشدنا بسهولة الى طبيعة العنصر. وتجدر الاشارة الى انه بهذه الطريقة استطاع بعض العلماء اكتشاف عناصر ومعادن جديدة.

لقد استطاع العالم الانكليزي موزلي، الذي قتل في الدردنيل عام ١٩١٥، ان يجد علاقة بسيطة بين اطوال الموجة في الاشعة السينية K وبين العدد الذري لعنصر المصعد. فقد برهن أنه اذا اجرينا رسما بيانيا لتغير الجذر التربيعي لذبذبة اشعة سينية K بتغير العدد الذري حصلنا على خط

مستقيم يمكن التدليل عليه بالمعادلة التالية المعروفة بقانون موزلي

$$\sqrt{\frac{N}{R}} = \sqrt{\frac{3c}{4}\ (Z-1)}$$

حيث N ترمز إلى الذبذبة

R= ثابتة ريدبرغ

C= سرعة الضوء

Z= العدد الذري

وتجدر الاشارة لوجود معادلة اخرى خاصة بالاشعة السينية «L» مشابهة لما كان قد وجده العالم (Lyman) بالنسبة لطيف الهيدروجين في القسم فوق البنفسجي.

هذا القانون يعني وجود معادلة أساسية بين كل العناصر بدءاً بالهيدروجين وانتهاء بالعناصر الثقيلة: أي أنها مبنية بنفس الحبيبات وبنفس الطريقة. ومن ناحية ثانية فإن الرسم البياني الذي يعطي الجذر التربيعي للذبذبة الموازية لاي عدد ذري ساعد العلماء على اكتشاف عناصر جديدة لم تكن معروفة من قبل. فبهذه الطريقة استطاع كوستر Coster اكتشاف الهافنيوم (Hafnium) كما استطاع تاك ونوداك (Tacke et) (Noddack) اكتشاف المازيريوم (Masurium) والرانيوم (Rhénium) ... الخ.

وباختصار فان الحصول على الاشعة السينية يستدعي التوصل الى ما يلي:

- تحويل طاقة كهربائية الى طاقة حركة تحملها الكهيربات. وهذه المرحلة تتم بتسليط توتر عال على قطبين معدنيين موجودين داخل انبوب خاص سحب جزء كبير من هوائه.

- تحويل الطاقة الحركية الى اشعاع عند اصطدام الكهيرب بالمصعد.

الفصل الثاني :
طرق إنتاج الأشعة السينية وقياسها

لقد قلنا في الفصل السابق بأن انتاج الاشعة السينية يتم بتحويل طاقة حركية الى طاقة ضوئية.

وقلنا ان الكهيرب المنطلق من المهبط (او من شريط معدني ذي حرارة مرتفعة) يكتسب طاقة حركية تساوي حاصل ضرب الشحنة الكهربائية للكهيرب بقيمة التوتر المسلط على انبوب الاشعة السينية:

$$E_c = Ve$$

حيث E_c = طاقة حركية
V = قيمة التوتر الكهربائي
e = الشحنة الكهربائية لكهيرب

وعند التطرق لاساليب انتاج الأشعة السينية يتوجب التطرق لدراسة التقنيات التالية:

- كيفية اطلاق حزمة من الكهيربات داخل الانبوبة
- طرق الحصول على توتر كهربائي عال
- أنواع أنابيب الأشعة السينية المستعملة

٢ . ١ - إطلاق الكهيربات

لنعد قليلا الى الوراء، الى تجربة رونتغن التي حصل خلالها على الاشعة

السينية. لقد كان يدرس ظاهرة الفلورة التي تحدثها الاشعة المهبطية وكانت الأنبوبة المستعملة فارغة جزئيا من الهواء بحيث أصبح الضغط داخلها منخفضا جدا (انظر الصورة رقم ٢ ـ ١).

اذن من الممكن الحصول على اشعة سينية بواسطة أنبوب الاشعة المهبطية وبالتالي من الممكن اصدار حزمة كهيربات داخل الانبوب. ولكن كيف يتم ذلك؟

عندما قلّت كثافة الغاز داخل الانبوب تباعدت الجزيئات عن بعضها وتأيّنت اي انقسمت الى أيونات موجبة والى كهيربات بفعل وجود حقل كهربائي بين قطبي أنبوب الأشعة المهبطية.

وعند انجذاب الأيونات الموجبة نحو المهبط تنجذب الكهيربات بقوة نحو المصعد لتنتج الأشعة السينية بالطريقة التي شرحنا آنفا.

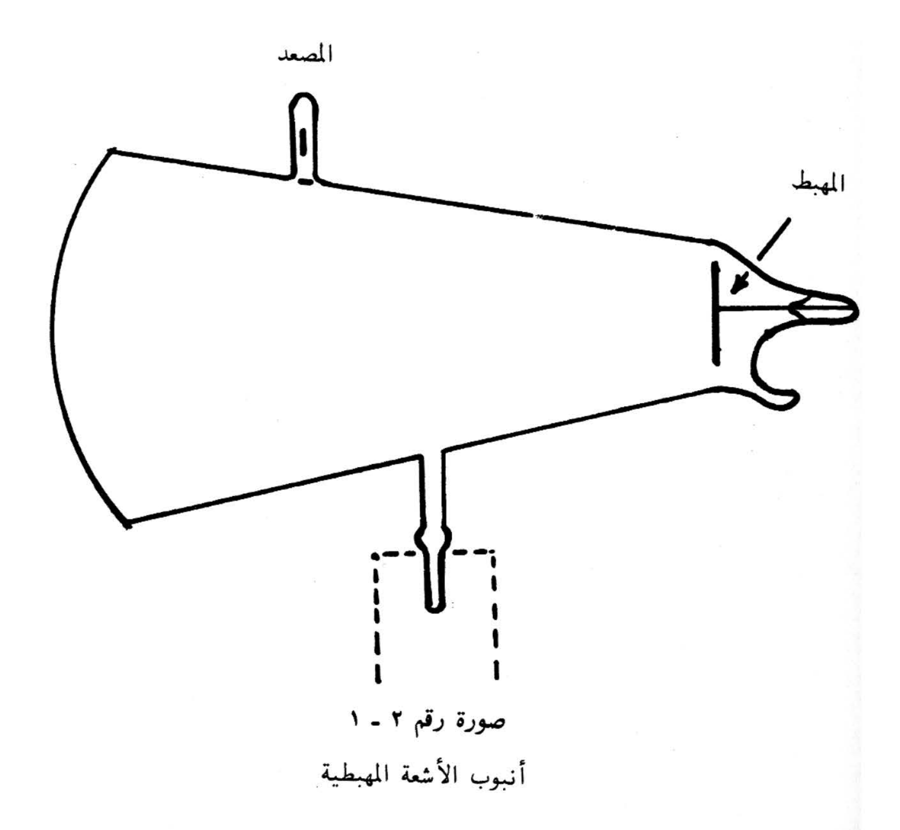
إن إصدار حزمة الكهيربات داخل الأنبوب يتم اذن عند تأيين الغاز المتبقي في الأنبوب بعد افراغه جزئيا.

ولكن هناك طريقة اخرى لإصدار حزمة الكهيربات داخل انبوب الاشعة السينية. وهذه الطريقة ترتكز على ظاهرة معروفة باسم ظاهرة أديسون (Edison).

ويمكن ايجاز الظاهرة كما يلي:

من المعروف ان الذرات والكهيربات الحرة في المعادن دائمة الحركة وأن حركتها تزداد سرعة وبعداً عن مواضع الاتزان بارتفاع درجة الحرارة. وبازدياد هذه الحركة ترتفع قيمة الطاقة الحركية للكهيرب، مما يدفعه، في بعض الاحيان، للخروج من مادة الجسم الحار. ولكن بمجرد خروج الكهيرب من الجسم، يصبح هذا الأخير مشحونا بالكهرباء الموجبة مما يؤدي الى جذب الكهيرب مجددا اليه الا اذا كانت الطاقة الحركية كبيرة نسبيا.

منذ حوالي ستين عاما استعمل كولدج (Coolidge) نتائج هذه



صورة رقم ٢ - ١

أنبوب الأشعة المهبطية

الظاهرة في مؤسسة جنرال الكتريك (General Electric Company) حيث صنع أنبوبا للأشعة السينية سمّي ، منذ ذلك الوقت ، باسمه .

لقد تم سحب الهواء من انبوب كولدج بشكل شبه تام بحيث أصبح من الصعب إشعال الكهرباء بين قطبي الانبوب بواسطة تحويل الغاز النادر المتبقي في الانبوب الى ايونات .

ماذا يحدث إذن في انبوب كولدج؟

وضع كولدج في الانبوب شريطا يخترقه تيار كهربائي فيتحول قسم من الطاقة الكهربائية الى طاقة حرارية تحت تأثير ظاهرة جول (Joule) مما يرفع درجة حرارة الشريط حتى الفي درجة تقريبا . وعندها تندفع بعض

الكهيربات الى خارج الشريط.

ولكننا نعلم بوجود قطبين في الانبوب: المهبط والمصعد مما يعني وجود حقل كهربائي بينهما. فاذا تم وضع الشريط الحار المشار اليه اعلاه بالقرب من المهبط اصبح من المحتم ان يساعد هذا الاخير (المهبط اي القطب السالب) على دفع الكهيربات نحو المصعد (الموجب) ومنعها من العودة الى الشريط الحار.

وبابتعاد الكهيرب عن المهبط وتوجهه نحو المصعد، تزداد سرعته وطاقته الحركية بحيث يصل الى المصعد ويساهم بابتعاث اشعة سينية (عامة او خاصة بمعدن المصعد) بالطريقة التي شرحنا آنفا.

يتبين مما سبق بانه يتوجب في كلا الحالين السابقين، خلق توتر عال بين قطبي انبوب الاشعة السينية: المهبط والمصعد. فكلما ارتفعت قيمة هذا التوتر ارتفعت الطاقة الحركية للكهيرب وازدادت امكانية اختراقه لاحدى ذرات المصعد ووصوله الى كهيربات الطبقات الداخلية (مثلا K) وبالتالي ابتعاث اشعة سينية قصيرة طول الموجة.

٢.٢ - آلات التوتر العالي

لقد اشرنا سابقا الى ضرورة وجود مهبط مشحون بشكل دائم بالكهرباء السالبة، ومصعد مشحون ايضا بالكهرباء الموجبة. فمن غير الممكن اذن استعمال التيار المتردد حيث تتغير طبيعة قطبي الانبوب مرات عديدة بالثانية (٥٠ مرة او ٦٠ مرة في الثانية).

من ناحية اخرى يجب الحصول على توتر عال لا يمكن الحصول عليه بوصل قطبي الانبوبة الى بطارية او عدد معقول من البطاريات، لذا فكر مستعملو الاشعة السينية في المرحلة التي تلت اكتشافها، في استعمال آلة أو وشيعة التحريض مع التيار المستمر بعد تزويدها بجهاز لقطع الكهرباء ووصلها مرات عديدة.

ولكن في ايامنا هذه وبعد تطور علوم الكهرباء والالكترونات اصبح استعمال التيار المتردد اكثر سهولة واهمية من استعمال التيار المستمر.

وقد اوجد الباحثون لكل مشكلة حلا مناسبا وبشكل خاص فاوجدوا اجهزة عديدة كل واحد منها قادر على اعطاء قيمة معينة من التوتر.

سنحاول فيما يلي، وبشكل موجز، وصف بعض هذه الاجهزة.

٢.٢.١ - المحوّلات

المحوّل جهاز يستعمل لتغيير فولتية التيار الكهربائي المتردد. ليس فيه اجزاء متحركة ويتكون في ابسط اشكاله من ملفين من الاسلاك، اولي وثانوي منعزلين عن بعضهما البعض. فالتيار المتردد في الملف الاولي يحدث بالتحريض (أو الحث) تيارا في الملف الثانوي. وعدد لفات الشريط الكهربائي في الملف الثانوي اكبر من عددها في الملف الاولي. وكلما زادت لفات الملف الثانوي بالنسبة لعدد اللفات في الاولي، زادت قيمة فولتية التيار الممكن الحصول عليه من الملف الثانوي.

ان اكثر الاجهزة المستعملة حاليا بشكل واسع (الطب، الصناعة وبعض ميادين البحث العلمي) تتشابه فيما بينها من ناحية مبدأ التصميم، وتختلف في بعض التفاصيل العائدة لميدان التطبيقات والاستعمال. وهي تتألف عادة من:

- محول مغمور عادة بالزيت (من اجل العزل الكهربائي الجيد) يعمل لتحويل تيار ذي ذبذبة تساوي ٥٠ او ٦٠ سيكل بالثانية. وفولتية (توتر) تساوي ١١٠ أو ٢٢٠ فولت الى فولتيه عالية قد تزيد في بعض الحالات عن ٤٠٠ كيلوفولت.
- محول ثان لتزويد الشريط المعد لارسال الكهيربات عند اشتداد حرارته، بتيار لا تتعدى قوته ٥ أمبير (Ampère) تحت توتر قيمته حوالي ١٢ فولت (12 volts).

- جهاز لتثبيت قيمة فولتيه وشدة التيار.
- جهاز لتقويم التيار المتردد (مقوّم) اي جعله يمر باتجاه واحد حتى لا تتغير طبيعة المهبط او المصعد الكهربائية بحيث يصبح التيار المتردد المقوم (redressé) وكأنه تيار شبه مستمر.

وقد ادخلت بعض التحسينات مع مرور السنين ولكن المبدأ يبقى نفسه. فقد تم اكتشاف غاز (SF_6) ذي قدرة كبيرة على العزل الكهربائي فحل مكان الزيت الذي يغمر المحول ذا الفولتية العالية، مما جعل جهاز الاشعة السينية اخف وزنا.

وهذا الغاز (SF_6) اثقل من الهواء (٥٠١ مرة اكثر) مما يعني امكانية وضعه في المحول فيطرد الهواء ويحل مكانه بسهولة.

وتجدر الملاحظة الى ان الملف الاولي معزول عن الملف الثانوي. والملفان ملفوفان حول نواة مركزية(Magnetic Core wound) لها في أكثر أجهزة الأشعة السينية، شكل دائري.

لا يمكن لأنبوب الاشعة السينية العمل بتيار متردد وذلك للاسباب التي ذكرنا سابقا. لذا يتوجب الحصول على تيار مستمر يسيّر الدائرة الكهربائية في اتجاه واحد مما يحتم اضافة مقوّم يسمح، كما قلنا اعلاه، بمرور التيار الكهربائي باتجاه واحد ويمنعه من المرور بالاتجاه المعاكس فيتيح بذلك الحصول على تيار شبه مستمر طيلة الوقت او نصف الوقت حسب المقوم المستعمل. وعندما نقول نصف الوقت نعني الوقت الذي يمضي قبل أن يعود التيار المتردد بنفس الاتجاه ونفس الشدة.

هناك عدة انواع من المقومات إلا أنه يمكن حصرها في مجموعتين اثنتين:

- المقوم الميكانيكي، وهو يسمح بمرور التيار باتجاه واحد طوال الوقت لا نصفه فحسب. أهم خصائص المقوم الميكانيكي متانته واهم عيوبه

تنحصر في الاصوات التي يحدثها وفي التأثيرات السلبية التي يخلقها على الدائرة الكهربائية بمجملها .

- المقوم الالكتروني الذي يستخدم فيه ، كما يدل اسمه ، بعض تقنيات الالكترونيك. يقوم التيار بحيث يمر باتجاه واحد خلال نصف الوقت (demi-onde) . ولقد أتاح التقدم العلمي الحصول على ما هو قادر على اعطاء تيار باتجاه واحد طوال الوقت (onde entière) ويمكن اعطاء داره غراتز (Graetz) كمثل على المقوم الالكتروني .

٢.٢.٢ ـ مولدات فان دي غراف (Van de Graaff)

يعتمد هذا المولد على مبدأ كهرسكوني (كهراكدي) اعتقد العلماء لفترة طويلة بأن اهميته تنحصر ببعض التجارب المخبرية التي تجري امام طلاب الثانويات والجامعات . ويمكن التدليل على هذا المبدأ بالملاحظة التي لاحظها اكثر الناس .

فعند الخروج من الحمام وبعد تجفيف الشعر النظيف جيداً ، يسمع البعض ، عند تمشيط الشعر بعض الاصوات الصغيرة تصدر عن المشط . وهذه الاصوات تصدر عن شرارات كهربائية صغيرة في المشط . وبكلام آخر بأن احتكاك المشط بالشعر يساهم في انتزاع بعض الكهيربات من الشعر (أو من المشط) وهكذا فان احتكاك جسمين غير معدنيين ببعضهما يساهم في كهربتهما كليهما .

ولقد استعمل فان دوغراف هذه الظاهرة لبناء مولده المعروف حالياً باسمه .

والمولدات الحالية المبنية على هذا المبدأ تستطيع اعطاء تيار كهربائي ذي فولتيه مرتفعة جدا تصل الى اكثر من عشرة ملايين فولت . وهذه المولدات لا تستعمل فقط لتوليد الاشعة السينية وانما تستعمل في ميداني الفيزياء الذرية والفيزياء النووية على السواء .

ونرى في الصورة رقم (٢ ـ ٢) مولد اشعة سينية يستعمل في المستشفيات وزنه حوالي الطن. وسبب صغر حجمه هو استعمال النتروجين (N_2) المضغوط من اجل العزل الكهربائي.

وتجدر الاشارة الى وجود آلات اخرى للتوتر العالي مبنية على مبادىء مختلفة عما ذكرنا سابقا. فهناك مثلا البتاترون (Betatron) الذي يعطي ٣٤٠ مليون فولت. وهناك السنكروترون (Synchrotron) او السنكروسيكلوترون (synchrocyclotron) الذي يعطي في بعض الاحيان اكثر من مليار فولت.

لن ندخل في تفاصيل عمل هذين النوعين من مولذات التوتر العالي. فبإمكان القارىء مراجعة الكتب المتخصصة (فيزياء الاشعة السينية، او الفيزياء الذرية) من اجل المزيد من الايضاح في هذه المواضيع.

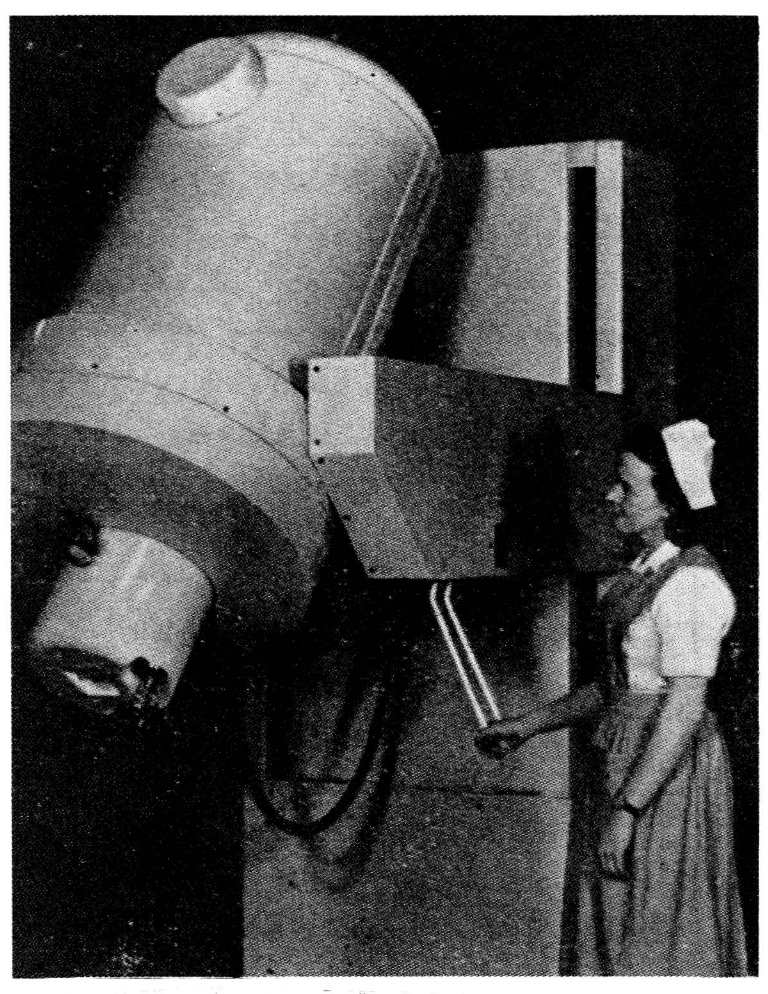
٣.٢ ـ انبوب الاشعة السينية

يتبين مما سبق ان الفرق بين مختلف انابيب الاشعة السينية ينتج عن اختلاف طرق اصدار الكهيربات داخل الانبوب. ويمكن حصر انواع الانابيب السينية بنوعين.

١ ـ الأنابيب التي تحتوي على غاز يصار الى تأيينه بواسطة التوتر العالي المقوّم.

٢ ـ الأنابيب الألكترونية وهي تستخدم مصدراً حاراً للالكترونات، أي شريطاً يخترقه تيار كهربائي فترتفع درجة حرارته بسبب ظاهرة جول.

ففي السنوات العشرين التي تلت اكتشاف الاشعة السينية تم استخدامها في ميدان الطب. وكان الانبوب المحتوى على غاز هو الوحيد المستعمل. وكان هذا الانبوب مزودا بجهاز يسمح بادخال الغاز اليه. فاستعمال الانبوب المتواصل يؤدي الى نقصان في كمية الغاز وبالتالي الى خفض ضغطه مما يستدعي استعمال توتر ذي فولتية اعلى من اجل تأيين الغاز.



صورة رقم ٢ ـ ٢

مولّد أشعة سينية

وقد رأينا انه كلّما زادت فولتيه التوتر قصرت موجة الاشعة السينية. فللمحافظة على نوع معين من الاشعة السينية يتوجب المحافظة على ضغط شبه ثابت داخل الانبوب.

ومع تقدم التقنية ، وبعد انتاج اول أنبوب الكتروني أهمل الانبوب الذي يحتوي على غاز لاسباب عديدة لن نحاول حصرها ، هنا . ولكن اهم هذه الاسباب ينحصر في محاولة تغيير شدة الطيف السيني دون تغيير فولتية التوتر ، وبالتالي دون تغيير اطوال موجة الطيف السيني المنتج .

وقد ظهرت في بعض الميادين (كالطب وعلم البيولوجيا) ضرورة ايجاد اشعة سينية ذات طول موجة متناهية القصر مما حتّم ايجاد انواع جديدة من انابيب الاشعة السينية تعمل تحت توتر ذي فولتية مرتفعة جدا .

ان ارتفاع الطاقة المستعملة في اجهزة الأشعة السينية وفي أنبوب الاشعة السينية ، ووصول حزمة كبيرة من الالكترونات (ذات طاقة حركية كبيرة) الى المصعد يؤدي الى ارتفاع درجة حرارة معدن هذا الاخير . ومن أجل الحؤول دون وصوله الى حالة الذوبان يصار عادة الى تبريده بماء يجري في أنابيب خاصة مثبتة داخله .

وتبقى الطريقة التي تقضي بوضع الانبوب كاملا في الزيت الوسيلة الفضلى ، اذ انها ، اضافة الى تبريده ، تساهم في الحفاظ عليه من الصدمات الخارجية .

وتجدر الاشارة الى وجود انواع كثيرة من الانابيب تختلف بعضها عن بعض ، اضافة الى ما سبق ، بشكل المصعد او بامكان تغييره بين تجربة واخرى . كما تختلف بدرجة الحرارة التي يمكن ان يتحملها الشريط الحار المجاور للمهبط والمعد لاطلاق الكهيربات .

٤.٢ ـ قياس شدة الاشعة السينية

يمكن تحديد حزمة معينة من الاشعة السينية بعاملين إثنين :

- الاول كمي وهو شدة الحزمة .
- والثاني نوعي ويتعلق بالتوزيع الطيفي لشدة الاشعة اي للطاقة .

والشدة هي كمية الطاقة التي يحملها اشعاع معين بالثانية ومن خلال

وحدة قياس مساحة موجودة في مسطح عامودي على مسار الاشعة المستقيم. وسنحدد وحدة القياس فيما بعد.

وقد يصعب في بعض الحالات قياس هذه الشدة مباشرة، لذا يعمد العلماء، كما هو العادة في اكثر القياسات، لقياسها بشكل غير مباشر، اي بقياس نتائج اختراق الاشعة السينية للمادة. وهكذا وبعد ربط شدة الحزمة بالتأثيرات الفيزيائية، الكيميائية او البيولوجية يصار الى تحديد طرق القياس.

وتأثيرات الاشعة السينية كثيرة كما سنرى فيما بعد. ونكتفي هنا بعرض بعض طرق قياس الاشعة السينية المتعلقة ببعض هذه التأثيرات الاكثر استعمالا.

٢. ٤. ١ ـ الطريقة الحرارية:

عندما تصطدم حزمة اشعة سينية بقطعة معدنية ذات ابعاد تسمح بامتصاص الحزمة بشكل شبه كلي (٩٧٪ فما فوق) تتحول الطاقة المتصة الى طاقة حرارية. وهذا يعني ان كل الاشعاعات الثانوية والكهيربات التي تحررها الاشعة السينية من المعدن، يمتصها الجسم المعدني من جديد. وتكون النتيجة ارتفاع حرارة المعدن.

هذا المبدأ استعمل بدقة في الكثير من القياسات المتعلقة بالاشعة السينية، نذكر منها:

- قياس كمية الطاقة (الشدة) الموجودة في حزمة الاشعة السينية
- قياس توزيع الطاقة في طيف الاشعة السينية.
- قياس تغير شدة الحزمة مع تغير فولتية التوتر المسلط على انبوب الاشعة السينية.
- قياس علاقة الطاقة التي يطلقها انبوب الاشعة السينية بالطاقة الكهربائية التي تعطى له.

- قياس علاقة الطاقة بطول الموجة وبالتأيين الذي تحدثه حزمة الاشعة السينية في غاز او جسم معين.
- قياس علاقة شدة الاشعة السينية والتأثيرات الفوتوغرافية التي تحدثها على لوحات التصوير.

والاجهزة التي تستعمل عادة في هذا المجال تتألف من قسمين متساويين: قسم يسخن بواسطة الاشعة السينية والثاني بواسطة الكهرباء. ويتم وضع القسمين بشكل متلاصق بحيث يسهل مقابلة درجتي حرارتيهما. وتتعدد الطرق التي يمكن بها الوصول الى درجة الحرارة نفسها في كلا القسمين، مما يسمح بالقول بأن كمية الطاقة التي تنقلها الاشعة السينية بالثانية تساوي كمية الطاقة الكهربائية التي يحصل عليها القسم الثاني في الثانية.

ويتم قياس الطاقة الكهربائية بواسطة اجهزة خارجية تسمح بقياس فولتية التيار وشدته بشكل دقيق.

وطرق القياس الحرارية، تعتمد اذن على قياس مقادير صغيرة مما يستوجب اخذ احتياطات كبيرة عند العمل. وبالتالي فان هذه الطريقة لا تستعمل في التجارب العادية.

وتجدر الاشارة الى ان التقدم التقني وايجاد مواد تتغير مقاومتها بشكل كبير عند اي تغير طفيف لحرارتها (مثلا Thermistor) ساهم مساهمة فعالة في قياس تغير حرارة المعدن بشكل دقيق جدا.

٢.٤.٢ - التأيين

عندما تخترق الاشعة السينية غازا معينا، تحرر من بعض جزيئاته كهيربات (Photo-électrons) محمّلة بطاقة حركية كبيرة مما يجعل امتصاص الجزيئات لها من جديد صعبا. واختراق هذه الالكترونات للغاز يؤدي الى تحطيم بعض الجزيئات وقسمتها الى ايونات سالبة واخرى موجبة والطاقة اللازمة لتحطيم الجزيء تؤخذ من الطاقة الحركية للكهيرب مما يؤدي الى

خفض قيمة هذه الاخيرة وبالتالي الى امكانية اعادة امتصاص الكهيرب من قبل احد الأيونات المتواجدة في الغاز.

واذا وضعنا في طرفي الانبوب الذي يحوي هذا الغاز، قطبين موصولين بجهاز توتر عال انجذبت الايونات السالبة نحو القطب الموجب (المصعد) والايونات الموجبة نحو المهبط. وهذا ما يعادل مرور تيار كهربائي في الانبوب يمكن قياس شدته بالوسائل المعروفة.

ومن الضروري ان تكون فولتية التوتر العالي مرتفعة وكافية لجذب كل الايونات التي توجدها الاشعة السينية في الغاز.

ومن الضروري ايضا اخذ الاحتياطات الكافية لمنع وصول الاشعة السينية الى معادن القطبين اذ ان وصول حزمة من الاشعة السينية الى معدن القطب سيحرر كهيربات لها طاقة حركية قد تساهم بدورها بتأيين الغاز مما يدخل بعض الخطأ في القياسات.

ومنذ اكتشاف قدرة الاشعة السينية على تأيين الغاز بدأ العلماء بصنع عدادات للقياس ذات اشكال مختلفة. وقد توصلوا الى صنع انابيب مملوءة بالغاز، مزودة بمهبط ومصعد. المهبط اسطواني الشكل والمصعد عبارة عن شريط معدني موجود في محور الاسطوانة. وحسب فولتيه التوتر المسلط على القطبين يمكن الحصول على انواع ثلاثة:

أ - انبوب تأيين وهو عداد يعمل تحت فولتية خفيفة (اقل من ٢٠٠ فولت).

ب - عداد نسبي وهو عداد يعمل تحت توتر متوسط الفولتية (اقل من الف فولت).

ج - عداد جايجر (Geiger) ويعمل بفولتية عالية.

وتجدر الاشارة الى ان كمية الكهرباء التي تنجذب نحو المهبط (او المصعد) تساوي، في العداد الاول، تلك التي حررت خلال عملية التأيين

بالاشعة السينية. اما في العداد النسبي فهي تساوي اكثر بكثير (عشرة آلاف مرة اكثر في بعض العدادات) من كهرباء الايونات بسبب وجود تأيين ثانويْ. وعداد جايجر يعطي حتى عشرة مليارات مرة اكثر من الكهرباء المحررة في عملية التأيين الأولية.

ولن ندخل هنا في شرح عملية مضاعفة (amplification) شدة الكهرباء المقيسة، خارج العداد. ويمكن للقارىء، مراجعة الكتب المتخصصة في قياسات الاشعة للتزود بايضاحات وافية. ولكن تجدر الاشارة الى انه كلما زادت كمية الكهرباء التي تنجذب داخل العداد الى المهبط والمصعد، زادت شدة التيار الكهربائي وقلّت بالتالي نسبة الخطأ في القياس.

فاذا كانت كمية الكهرباء هذه تساوي مثلا مليون مرة كمية الكهرباء المحررة بالاشعة السينية كان الخطأ المرتكب في قياس شدة الاشعة السينية يساوي جزءاً من مليون من قيمة الخطأ المرتكب في قياس شدة التيار الكهربائي. ومن هنا تأتي أهمية العداد النسبي وعداد جايجر.

٣.٤.٢ ـ طرق اخرى للقياس

في العام ١٩٤٦ اكتشف العالم فريريك ان لبلوريات كبريت الكادميوم (CdS) توصيليــة ضوئيــة كبــيرة نسبيــا (30.10^{-6} Ampere) يمكن قيــاسهــا بواسطة اجهزة حساسة وذلك عند تلقيها حزمة من الاشعة السينية. وهذا ما دفع العلماء لاستعماله في اجهزة قياس الاشعة السينية.

وبعد هذا التاريخ تتابعت الابحاث الاساسية في ميدان فيزياء الاجسام الصلبة وميدان علم البلوريات حيث تم تحضير اجسام صافية حتى درجة كبيرة. وبشكل خاص فقد تم تحضير أجسام نصف موصلة، كالسيليسيوم (Si) والجرمانيوم (Ge) وغيرهما، ذات توصيلية ضوئية لا بأس بها. وهذه الاجسام تستعمل حاليا في العدادات الدقيقة، ليس في ميدان الاشعة السينية فقط بل في ميدان الفيزياء النووية حيث تستعمل في اجهزة قياس شدة حزمة النوترونات مثلا.

وتجدر الاشارة الى ان التوصيلية الضوئية في انصاف الموصلات هذه تزداد بازدياد صفاء الجسم مما يحتم اخذ الاحتياطات الدائمة لابعاد الجسم نصف الموصل عن كل ما يمكن ان يزوده بشوائب. لذا يتوجب وضع السيليسيوم او الجرمانيوم في وعاء مفرغ من الهواء ومبرد دائما بواسطة الهواء السائل: ٧٧ درجة كلفن (حوالي مئتي درجة تحت الصفر).

وقد رأينا من ناحية ثانية آنفاً كم لعبت الفلوره في تسهيل اكتشاف الاشعة السينية. وفي السنوات العشرين الاخيرة عاد العلماء للاهتمام بظاهرتي الفلورة والفسفرة اللتين تحدثهما الاشعة السينية من اجل ايجاد عدادات لقياس شدة الاشعة.

وبالفعل توصل العلماء الى صنع لوحات مغطّاة بمواد خاصة مثل سيليكات التوتيا تحدث نوعا من الفلورة عند وصول حزمة الاشعة السينية اليها. وهذا، ما اعطى لهذه اللوحات بعض التطبيقات في التصوير المرئي. وسنرى ذلك فيما بعد.

والذي يهمنا من أمر الفسفرة والفلورة هنا هو إستعمال الظاهرة من أجل صنع عدادات لشدة الاشعة السينية. وبالفعل فقد توصل العلماء إلى استعمال هذه الظاهرة عندما فكروا بايجاد خلية ضوكهربائية قادرة على قياس شدة الفسفرة وبالتالي شدة الأشعة السينية التي تحدث الفسفرة.

وقبل ان ننهي كلامنا عن الطرق المستعملة لقياس شدة الاشعة السينية نشير الى وجود طرق أخرى كثيرة لهذا الغرض وخاصة الطرق الفوتوغرافية التي تتعلق بالعملية الكيميائية التي تحدثها الاشعة السينية على اللوحة الحساسة. وقد صنع الباحثون جهازا اسموه ميكروفوتومتر يستخدم لقياس شدة الاشعة السينية وهو يستعمل بشكل مستمر في كل مجالات العمل بالاشعة السينية.

بعد تعرض الفيلم (اللوحة الحساسة) لطيف الاشعة السينية وحصول التأثيرات الكيمياضوئية، التي تعتمد على شدة الاشعة السينية عليه، تتم

دراسته بواسطة الميكروفوتومتر بالطريقة التالية:

تخترق حزمة من الاشعة العادية ذات شدة ثابتة الفيلم الذي يتحرك ببطء باتجاه مستقيم وبسرعة ثابتة. وتختلف شدة الاشعة المخترقة للفيلم، باختلاف شفافية الفيلم. فكلما قلّت هذه الشفافية (بوجود بقع سوداء بسبب التأثيرات الكيمياضوئية) نقصت شدة الاشعة.

فاذا ما اخذنا هذه الاشعة، بعد اختراق الفيلم استطعنا قياس شدتها بواسطة اجهزة خاصة (ظاهرة الضوكهربائية مثلا) وبالتالي اصبح بالإمكان معرفة تغيّر شفافية (أو كثافة، ومن هنا اتت تسمية الجهاز) الفيلم وتغير شدة الاشعة السينية المستعملة.

تتجلى أهمية هذا الجهاز في ميادين الأبحاث التالية:

- قياس طول موجة الاشعة السينية والشدة النسبية لموجات الطيف
- التحليل الكميّ في الكيمياء
- الدراسة الكمية للصور بالاشعة السينية.
- دراسة الصور في تجارب الحيود من اجل معرفة التركيب البلوري للاجسام الصلبة.

ان وحدة قياس شدة الاشعة السينية تسمى رونتغن (Roentgen) وتحدد كما يلي:

الرونتغن تساوي كمية الاشعة السينية (او اشعة غما) التي تحرر من ۰٫۰۰۱۲۹۳ غرام هواء كمية كهرباء موجبة معادلة لوحدة كهرسكونية (U.E.S)، (ومثلها من الكهرباء السالبة).

ومن ناحية ثانية فقط لاحظ علماء البيولوجيا تأثير الاشعة السينية على الخلايا الحية وخاصة على خلايا الجلد. فجميع الذين عملوا بالاشعة السينية يعلمون كيف يصبح لون الجلد احمرا اذا ما تعرض لفترة قصيرة للاشعة السينية.

وتعرض الخلايا الحية للاشعة السينية لفترة طويلة يميتها. وهذا ما دعا العلماء الى تحديد الجرعة (dose) التي يمكن للانسان ان يتعرض لها دون حدوث خطر على حياته. ولكن وحدة قياس الجرعة لم يتفق عليها بسبب تغير شروط احتمال الاشعة السينية بين انسان وانسان. ولكن يبدو ان هناك شبه اتفاق على استعمال وحدة تسمى رب (rep) او -(röentgen) (equivalent - physical اي وحدة فيزيائية معادلة للرونتغن. وهذه الوحدة تساوي امتصاص ٩٣ أرغ (93 ergs) بواسطة غرام واحد من الخلايا.

تجدر الاشارة الى ان كل وحدة حرارية: سعر تساوي ١٨ ،٤×١٠^٧ أرغ ($1\ cal=4,18\times10^7 ergs$).

ونظرا لإمكانية قتل الخلايا الحية بواسطة الأشعة السينية (كما سنرى ذلك فيما بعد) اقترح بعض العلماء ايجاد انبوب تأيين بيولوجي (تسمية مجازية) لقياس شدة الاشعة السينية. وقد لوحظ ان علبة مليئة ببيض الهمجة، اي ذبابة الفواكه والخل (Drosophile) تفي بالغرض المطلوب جيدا. اذ ان ١٨٠ رونتغن تقتل ٥٠٪ من البيض و٥٠٠ رونتغن تقتل ٩٠٪.. الخ. وهذه النتائج ثابتة بين تجربة واخرى.

وعند قياس شدة حزمة سينية معينة، يصار الى عدّ البيضات التي تفقس وتلك التي تعطلت فنعرف نسبة الاولى على العدد الاجمالي للبيض وبالتالي نعرف كمية الاشعة السينية المسلّطة.

٥.٢ - قياس طول الموجة

من المعلوم ان الطاقة المشحونة في الفوتون تساوي حاصل ضرب ثابت بلانك بذبذبة الاشعة

$$E = h\ N$$

ولكن الذبذبة N تساوي حاصل قسمة سرعة الضوء بطول موجة الأشعة

$$N = \frac{C}{\lambda}$$

واذا أردنا ربط الطاقة بطول الموجة نجد:

$$E = \frac{hC}{\lambda}$$

فمعرفة طول الموجة يؤدي لمعرفة الطاقة وهذا شيء مهم بالنسبة للعاملين في ميدان فيزياء الاشعة السينية. ..

ومن ناحية ثانية فإن قدرة الأشعة السينية على اختراق المادة تزداد كلما قصر طول الموجة وذلك لسببين:

١ - لزيادة الطاقة التي تحملها الفوتونات

٢ - لأن الموجة القصيرة تصبح أصغر او مساوية للمسافة بين الذرات المكونة للمادة.

ومن هنا أتت الأهمية التي يعلّقها العلماء على الحصول على اشعة سينية (قاسية) ذات طول موجة قصير من أجل علاج المناطق الداخلية في الانسان او من أجل بعض الدراسات الفيزيائية.

ولكن هذا لا يعني ان العلم لا يعلّق أهمية على الأشعة الطرية ذات طول الموجة الطويل. فالدراسات لسطح المواد او للتفاعلات الفيزيائية التي تجري على سطح المادة تجري بواسطة أشعة سينية لها قدرة خفيفة على الاختراق اي تلك التي تبقى عمليا على سطح المادة بحيث لا تتفاعل الا مع الذرات الموجودة على سطح المادة.

ويمكن اعطاء مثل على ذلك، دراسة امتزاز الغاز على سطح الوعاء الذي يحويه. ودراسة إحتلال الغاز لبعض الفراغات في الاجسام الصلبة المسامية (Porosity).

اما في ميدان دراسة تركيب البلّوريات (حيث يصار الى توجيه حزمة

من الاشعة السينية الي البلور ثم دراسة التوزيع الطيفي ، من حيث الشدة ، للحزمة المحيّدة تبقى معرفة طول موجة الاشعة السينية المستعملة أمراً بالغ الضرورة لحساب اطوال الخلية الاساسية للبلور ووضع الذرات داخلها.

إن هذه الأهمية لمعرفة طول الموجة دفعت العلماء لاستنباط طرق قياس لطول الموجة هذا. وهذه الطرق تعتمد على المبادىء التالية:

١ ـ الحيود بواسطة شبكة بالمعنى المتعارف عليه في علم البصريات الفيزيائية.

٢ ـ الحيود بواسطة البلورات. وسنتوسع في دراسة هذا الموضوع في فصل لاحق.

٣ ـ الانكسار عند اختراق حزمة الاشعة السينية لمنشور.

٤ ـ دراسة ظاهرة إمتصاص بعض المواد المعروفة للأشعة السينية.

لقد رأينا ان انكسار حزمة من الاشعة السينية ، عند مرورها من مادة الى مادة ، يبقى ضئيلا مما يجعل الخطأ في القياسات كبيراً نسبياً.

ان الطريقة الاكثر استعمالا هي حيود الاشعة السينية بواسطة بلور معروف اي ان الذرات التي تتوزع فيه معروفة وتركيبه البلوري معروف. وكما سنرى في فصل لاحق ان معرفة بلور معين تستدعي معرفة:

أ ـ طبيعة العنصر او المركّب (حديد ـ ذهب ـ ملح طعام... الخ) وصيغته الكيميائية.

ب ـ شكل الخلية البلورية: مكعب ، مستقيم المعين... الخ.

ج ـ الأطوال (الأبعاد) والزوايا التي تحدد الخلية البلورية: طول الضلع بالنسبة للمكعب؛ والطول والعرض والارتفاع بالنسبة لمستقيم المعين... الخ.

د ـ توزيع الذرات في الخلية البلورية.

إن أي بلّور ، مهما صغرت اطواله ، هو مؤلف من آلاف لا بل ملايين

الخلايا البلورية مما يعني انه من الممكن تخيّل مسطحات متوازية تحتوي على بعض الذرات الموجودة في البلور . ولو اعتبرنا ان المسافة بين كل مسطحين متجاورين تساوي d وان حزمة الاشعة السينية المسلّطة على البلور تشكل مع كل سطح زاوية تساويΘ، يصبح من الممكن ايجاد معادلة تسمى بمعادلة براغ (Bragg) وهي :

$$2d \sin \Theta = n \lambda$$

حيث ان λ هي طول موجة الاشعة المستعملة و n هي عدد صحيح :

$$n = 1, 2, 3....$$

وسنرى في فصل لاحق كيف يمكن قياس Θ . وبما ان البلور معروف التركيب يصبح من الممكن معرفة d وبالتالي معرفة كل اطوال الموجات λ التي تحقق معادلة براغ الآنفة الذكر.

هذه الطريقة تستعمل ، ليس فقط لقياس طول موجة اشعة سينية احادية طول الموجة وإنما من أجل اختيار حزمة اشعة سينية احادية طول الموجة من بين حزمة اشعة سينية متعددة طول الموجة. واختيار مثل هذه الحزمة الاحادية طول الموجة مهم جدا في عدة ميادين للبحث العلمي وخاص في ميدان علم البلوريات.

الفصْــل الثالث :
الأشعَّــة السّــينيَّة والمــادّة

عندما تلتقي او تخترق اشعة سينية مادة معينة يحدث عدد من التفاعلات المعقدة. من بين هذه التفاعلات يمكن ذكر:

أ ـ امتصاص المادة للاشعة السينية.

ب ـ انتشار الاشعة السينية أو تشتتها.

ج ـ الحيود وهو حالة خاصة من الانتشار.

وتعود هذه التفاعلات في اكثر الاحيان الى قصر طول الموجة السينية ـ وهذا ما يستتبع نتيجتين أساسيتين:

أ ـ طول الموجة يصبح قريبا جدا من المسافة بين ذرتين متجاورتين في المادة وهذا ما يجعل قدرة اختراق المادة اكبر.

ب ـ مقدار الذبذبة يصبح مرتفعا وكذلك كمية الطاقة المشحونة في الفوتون كما رأينا سابقا. وارتفاع كمية الطاقة يسمح للفوتون باختراق الذرة والوصول الى كهيربات الطبقات الداخلية من اجل التفاعل معها.

وسنتطرق فيما يلي الى دراسة الظواهر الفيزيائية التي تحدث بعد «امتصاص» المادة للأشعة السينية.

١.٣ ـ الامتصاص

ان امتصاص المادة للاشعة السينية حسب قوانين محددة يرتدي اهمية قصوى في الفيزياء التطبيقية. واختلاف الامتصاص بين نقطة واخرى، في مادة غير متجانسة وذات ثقل نوعي غير ثابت، هو اساس مبدأ التصوير بالاشعة السينية في الطب والصناعة كما هو اساس تطبيقات اخرى لا مجال لذكرها الآن.

ولقد استطاعت علوم الاشعة السينية ان تتطور بفضل قياسات الامتصاص التي كانت تعطي معلومات هامة عن التركيب الذري للمواد وعن تغير الثقل النوعي بين نقطة واخرى. لذا نرى انه منذ ان اكتشف رونتغن الأشعة السينية حتى العام ١٩١٣ (حين استطاع لاو (Laue) وبراغ (Braggs) ادخال ظاهرة الحيود بواسطة البلورات) تطورت الميادين التي تعتمد على ظاهرة الامتصاص.

ماذا يحدث عن امتصاص المادة لحزمة من الاشعة السينية؟

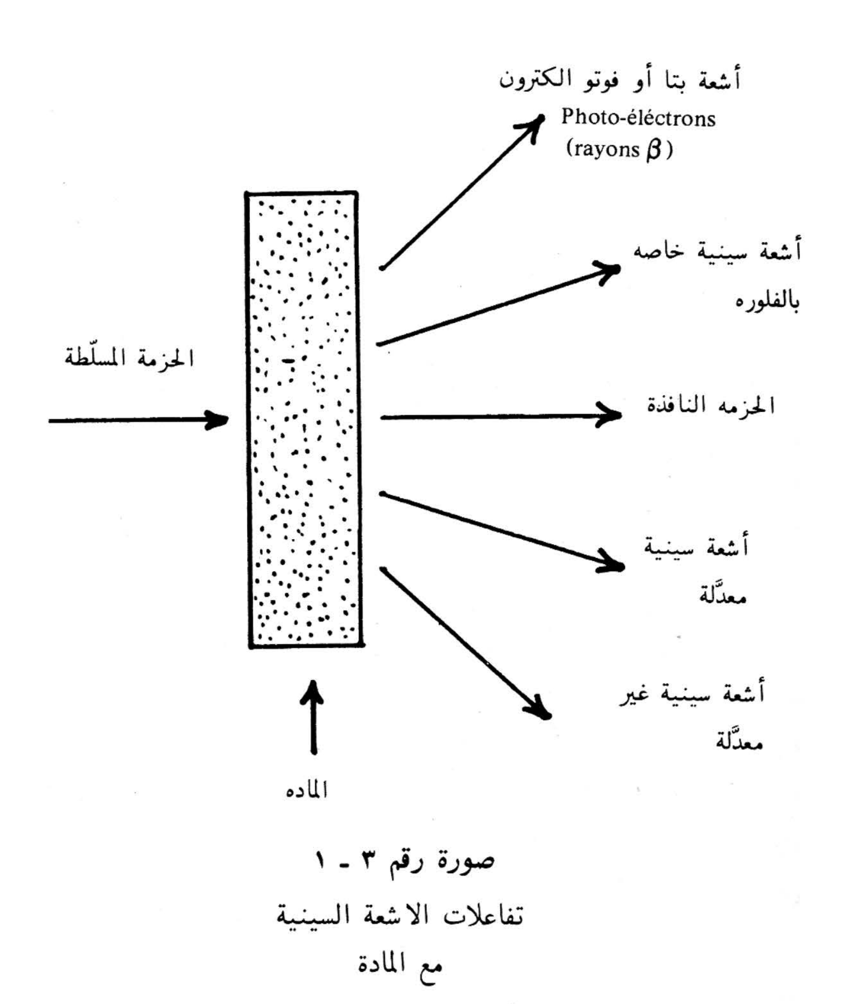
عندما تلتقي الحزمة السينية المادة تحدث عدة تفاعلات اوجزناها في الصورة رقم (٣ ـ ١) على الرغم من أن التجربة تدل على وجود تفاعلات اخرى اضافة الى ما هو مبين في الصورة رقم (٣ ـ ١). وكمثال على ذلك يمكن ذكر تحول الطاقة المشحونة بالفوتونات الى طاقة حرارية مما يرفع حرارة المادة الممتصة للأشعة السينية.

وسنشرح فيما يلي بعض هذه التفاعلات:

١.١.٣ ـ أشعة الفلورة السينية

يتم اصدار هذه الاشعة السينية بنفس الطريقة التي يتم فيها إصدار الأشعة السينية عند التقاء الاشعة المهبطية بالمصعد (راجع الفصل الاول).

ويمتص أحد الكهيربات في إحدى ذرات المادة الفوتون السيني فترتفع طاقته وينتقل من مستوى طاقة معينة في الذرة الى مستوى طاقة أعلى،



صورة رقم ٣ ـ ١
تفاعلات الاشعة السينية
مع المادة

ولكنه يعود ثانية الى طبقته الاولى مصدرا فوتونا ذا طاقة تساوي الفرق بين طاقتي المستويين. فاذا كان مستوى الطاقة الأدنى ينتمي الى الطبقة K اسميت الاشعة الصادرة اشعة K وهي نفس الاشعة التي تصدر عن نفس المادة اذا ما صنع مصعد انبوب الاشعة السينية منها.

وهذا يعني ان الاشعة السينية المنتجة بهذه الطريقة، اي بالفلورة، هي

خاصة بذرة المادة الممتصة للاشعة السينية الاساسية. كما يعني ايضا ان ذبذبة الاشعة السينية الممتصة تساوي او تفوق ذبذبة الاشعة المنتجة بالفلورة بالطريقة التي ذكرنا اعلاه.

وتجدر الاشارة الى ان بركلا (Barkla) استطاع، بواسطة قياسات الامتصاص، ان يبرهن ان طول الموجة الممتصة من قبل مادة معينة او التي تنتجها هذه المادة، انما هو خاص بكل عنصر من العناصر الكيميائية.

من ناحية ثانية، اذا كان الفوتون المنتج بهذه الطريقة يعود الى اشعة K فمن الممكن ان يمتصه كهيرب من الطبقات الاخرى، L مثلا، لينتقل الى مستوى طاقة اعلى ثم ليعود الى الطبقة L مصدرا فوتونا منتميا الى اشعة L. ويسمّى هذا الكهيرب بكهيرب اوجي (Auger) نسبة الى العالم الذي فسّر هذه الظاهرة: ظاهرة اوجي.

٢.١.٣ - الاشعة السينية المنتشرة بدون تعديل

ان أطوال موجة هذه الاشعة هي نفس أطوال موجة الاشعة الاساسية المسلطة على المادة فاذا كانت الحزمة المسلطة مثلا هي اشعة K الخاصة بذرة النحاس فان طيف الاشعة المنتجة يحتوي على اشعة K الخاصة بذرة النحاس. وهذا يعني انه تم انتشار الاشعة السينية بدون تعديل في طول الموجة. ولكن لا يمكن ان نفصل هذا الانتشار او التشتت عن باقي التفاعلات.

والتشتت او الانتشار هو الانعكاس غير المنتظم او الانكسار غير المنتظم، او كلاهما، لحزمة من الاشعة. وهو ايضا التأثير الناتج عن وجود مادة جامدة في طريق حزمة ضوئية او صوت او جسيمات ذرية. ان انعكاس أو حيود الأشعة السينية بواسطة البلورات هو حالة خاصة من حالة الانتشار بدون تعديل.

٣.١.٣ ـ الاشعة السينية المنتشرة والمعدّلة بظاهرة كومتون (Compton)

اثناء دراسة طيف الاشعة السينية الناتجة عن امتصاص مادة محدّدة لحزمة سينية اساسية، اكتشف كومتون (Compton) ودبي (Debye) ظاهرة ساهمت مساهمة كبيرة في تطوير العلوم الفيزيائية. لقد اكتشفا ان طيف الاشعة السينية المنتشرة والخاصة بالحزمة الاساسية المتصة (وليس بالمادة) يحتوي ليس فقط على اشعة سينية طول موجتها يساوي طول موجة الاشعة المتصة (راجع المقطع ب) بل يحتوي أيضاً على اشعة ذات اطوال موجة اكبر من طول الاشعة المتصة (الذبذبة اذن اقل وبالتالي شحنة الطاقة في الفوتون اصغر). وهذا يعني انه حصل خلال الانتشار تغير او تعديل ما.

وهذا التغير ينتج عما يسمى اليوم بظاهرة كومتون التي تلاحظ في عدة ميادين في الفيزياء الذرية والنووية. ويمكن تلخيص هذه الظاهرة بما يلي:

عدنما يلتقي فوتون مشحون بطاقة E_0 كهيرباً، يحدث له تراجع. ولهذا التراجع اتجاه يستدعي تغيراً أو تعديلا في إتجاه الفوتون وطاقته التي تصبح E وهي اصغر حتما من E_0. وبكلام آخر فان طول موجة الاشعة بعد التقاء الكهيرب اكبر من طول الموجة قبل الالتقاء.

وتجدر الاشارة الى ان ظاهرة كومتون هذه لا تعتمد مطلقا على العدد الذري للجسم الذي ينشر او يشتت الاشعة السينية، وانما تعتمد فقط على الزاوية بين اتجاه الحزمة الاساسية واتجاه الحزمة المنتشرة.

وتجدر الاشارة الى ان النسبة بين الاشعة السينية المعدلة وتلك التي لم تعدل، تتغير بتغير العدد الذري للجسم الذي يتلقى الحزمة الاساسية.

٤.١.٣ ـ اشعة بتّا (β rays)

اضافة الى ما سبق فانه بامكان الاشعة السينية عند وصولها الى سطح المادة، ان تخرج كهيربات من المادة نفسها. فاذا كانت الاشعة السينية

المستخدمة احادية طول الموجة أصبحت الطاقة الحركية لبعض الكهيربات المحررة تساوي طاقة الفوتون الممتص مهما كانت طبيعة المادة الكيميائية.

وهذه الكهيربات هي التي يمكن اعتبارها غير مرتبطة كثيرا بالمادة ، او هي بكلام آخر ، تلك التي تستدعي طاقة ضئيلة جدا لفصلها عن المادة.

وحزمة الكهيربات المحررة هذه تسمى اشعة بتا المشتتة لان طاقتها مستمدة من ذبذبة الاشعة السينية المستخدمة.

والى جانب هذه الكهيربات ، يتم تحرير كهيربات اخرى ذات طاقة حركية تختلف باختلاف طبيعة الذرة المكونة أو الموجودة في المادة ، وهي دائما اقل من طاقة الكهيرب. أما الفرق فيساوي قيمة الطاقة الضرورية لسلخ كهيرب من احدى طبقات الذرة.

ولقد برهن العالم الفرنسي دوبرويل (De Broglie) ان الطاقة الضرورية لسلخ كهيرب انما هي تلك الطاقة التي تحدد أي مستوى من مستويات الذرة K,L,M... التي تضم الكهيرب المنوي تحريره.

وتشكل دراسة هذه الكهيربات طريقة مهمة لمعرفة مستويات الطاقة في ذرة محددة. وبعد تطوير تقنية صناعة عدادات جايجر (Geiger) تم استحداث جهاز يستعمل للتحليل الكيميائي ، وذلك بدراسة طيف الكهيربات المنطلقة من المادة المنوي تحليلها بعد امتصاصها لحزمة من الاشعة السينية.

وتجدر الاشارة الى ان طاقة الاشعة السينية المنتجة بتوتر اقل من ٧٠ الف فولت تنتقل عند اختراق جسم الانسان مثلا ، الى الكهيربات التي تعود فتخسر طاقتها عند تأيين جزيئات الجسم. وهذا التأيين هو اساس التأثيرات البيولوجية للأشعة السينية والتي سنتحدث عنها في فصل لاحق.

وعندما نرفع فولتية التوتر ، يقل انتاج الكهيربات حتى ينعدم تقريبا وتصبح ظاهرة انتشار الاشعة السينية هي الظاهرة الاهم. وعندما تصبح

هذه الفولتية اكبر من مليون فولت ، تحدث تفاعلات اكثر تعقيدا من تلك التي ذكرنا حتى الآن .

٣ . ١ . ٥ ـ حيود الاشعة السينية بواسطة البلورات

لقد كان لاكتشاف لاو ظاهرة حيود الاشعة السينية بواسطة البلورات ، الاثر المهم في حقلين :

١ ـ علوم الاشعة السينية ، إذ ساهمت بالبرهان على الطبيعة الموجية للأشعة السينية .

٢ ـ علم البلوريات اذ برهن حيود الاشعة السينية بواسطة البلوريات على وجود تناظر (تناسق) في البلور لم يكن بالامكان اثباته قبل ذلك (عام ١٩١٢) .

ويتم حيود الاشعة السينية عند إنعكاسها على مسطحات شبكية تحتوي على عدد من الذرات المكونة للبلور . ويحصل الانعكاس ، حسب نظرية براغ ، حسب قوانين الانعكاس العادية . والفرق بين المرايا المسطحة وهذه المسطحات يكمن في ان هذه الاخيرة شبه شفافة ، مما يعني ان قسما من حزمة الاشعة السينية ينعكس والقسم الباقي يكمل طريقه لينعكس على مسطّحات اخرى .

وبالتقاء الشعاعات المنعكسة تحدث ظاهرة التداخل المعروفة في حقل البصريات الفيزيائية والتي اثبتت في تجربة لاو عام ١٩١٢ ان طبيعة الاشعة السينية هي نفس طبيعة الضوء العادي مع فارق طول الموجة .

وظاهرة التداخل تعني وجود نقاط او اماكن تكون شدة الضوء فيها قصوى واماكن اخرى تكون شدة الضوء فيها ضئيلة او معدومة في حال استعمال اشعة سينية احادية طول الموجة .

ولقد برهن براغ في قانونه المعروف ان الأماكن الشديدة الضوء يمكن

تحديد اتجاهها بزاوية بحيث نحصل على المعادلة التي ذكرنا في فصل سابق وهي :

$$2d \sin \Theta = n \lambda$$

d= المسافة بين مسطحين متوازيين من مسطحات البلورة
λ = طول موجة الاشعة
n= عدد صحيح
. أنظر الصورة رقم ٣ ـ ٢ .

وسنعود ، في فصل لاحق لدراسةٍ أكثر وضوحا لهذا القانـون . ونكتفي هنا بالاشارة الى ان الانعكاس الذي تكلمنا عنه سابقا هو صورة تبسيطية لحقيقة التفاعل بين البلور والاشعة السينية المسلّطة . ولكن تبقى النتائج العملية ، بالنسبة للتطبيقات ، صحيحة ، اذ ان طول موجة الاشعة المحيّدة مساوٍ لطول موجة الاشعة المسلّطة . وهذا ما دفعنا سابقا للقول بأن الحيود هو حالة خاصة من حالات الانتشار أو التشتت .

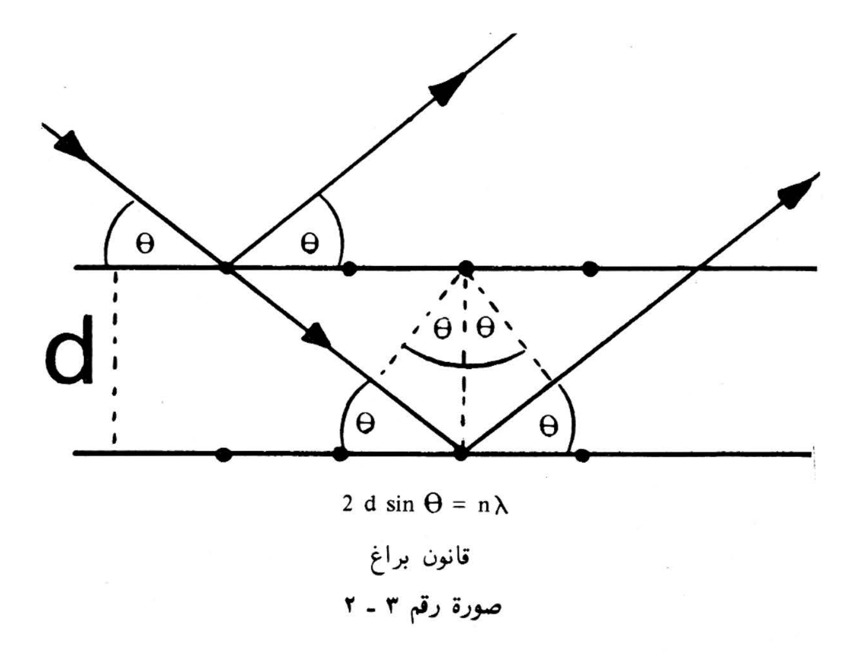
٣.٢ ـ قانون الامتصاص

عندما تخترق الاشعة السينية مادة معينة يتم امتصاصها حسب القانون الاسّي المعروف

$$I_X = I_0 e^{\mu \text{١}}$$

حيث
I_X= شدة الاشعة السينية بعد اختراقها لمادة متجانسة .
X= سماكة المادة المخترقة
μ= مُعامل الامتصاص .

واذا اعتبرنا ان مساحة مقطع الحزمة السينية تساوي ١ سنتيمتراً مربعاً أمكن القول بأن مُعامل الامتصاص هو جزء الطاقة الممتص داخل سنتمر مكعب من المادة التي تمتص الاشعة السينية .



$$2 \; d \; \sin \Theta = n\lambda$$

قانون براغ

صورة رقم ٣ - ٢

وهناك من يفضل تحديد معامل الامتصاص بالنسبة لوحدة الكتلة لا بالنسبة لوحدة الحجم. وهكذا يصبح هناك مُعامل جديد هو (μ/ρ) حيث ان ρ تساوي الثقل النوعي للمادة. وتوجد علاقة بسيطة بين هذا المعامل وبين العدد الذري لذرات المادة. فهو لا يتغير بتغير الحرارة او بتغير الحالة الفيزيائية للمادة ولكن بتغير طول موجة الاشعة المستعملة. ويبدو هذا الشيء بديهيا عندما نرجع الى ما قلنا سابقا حول طول موجة الاشعة السينية والمسافات بين الذرات.

ولقد أوجد دارسو ظواهر الامتصاص بعض القواعد والقوانين المفيدة من الناحية العملية. فقد لاحظوا ان معامل الامتصاص يتغير بشكل يتناسب مع مكعّب طول الموجة اذا كانت المادة نفسها هي التي تمتص الاشعة السينية. واما اذا ما تغيرت طبيعة المادة التي تمتص الاشعة فيصبح المعامل متناسبا مع مكعب العدد الذري.

وهذه القوانين الملاحظة مفيدة جداً ، لأنها قد تعطي فكرة عن معامل الامتصاص في مادة معينة لاشعة سينية ذات طول موجة معين دون دراسة تجريبية لقياسه. فدارسو البنية البلورية يستخدمون مثلا في حسابهم نسبة شدة الضوء المحيّد إلى الضوء المسلّط ، معامل الامتصاص. واذا كان هذا الاخير غير مقيس حتى اليوم ، فان من الممكن التوصل الى قيمته التقريبية اعتمادا على القانونين المذكورين اعلاه ، او على قوانين مماثلة.

٣.٣ - قواعد الوقاية من الاشعة السينية

لقد رأينا فيما سبق كيف تساهم طاقة الأشعة السينية المتصة في سلخ كهيربات من بعض ذرات المادة ، وفي تأيين الجزيئات المكونة لها ، مما يؤدي الى تفكك المادة والقضاء على توازنها. وهذا ما يشكل خطورة قصوى بالنسبة الى الانسان في حال تعرض جسمه للاشعة السينية.

وقد دفع هذا الخطر الباحثين إلى إيجاد طرق وقاية من خطر الاشعة على اجسام العاملين في حقل من الحقول التي تحتاج لمولّدٍ للاشعة السينية ، فقوانين امتصاص الاشعة السينية بواسطة المادة تسمح بمعرفة سماكة المادة التي يحتاج جسم الانسان اليها لحمايته من خطر الاشعة السينية وتأثيراتها الفيزيولوجية المميتة في بعض الاحيان كفقر الدم او الحروق. ومن اجل الحصول على حماية جيدة يظهر الرصاص كأفضل مادة ممتصة للاشعة السينية.

ان الحماية الجيدة من الاشعة السينية عامل مهم يجب اخذه بعين الاعتبار عند شراء او تركيب جهاز للاشعة السينية. ومن المستحسن ، ان لم يكن من الضروري ، ان يعمد الباحث او مستعمل الجهاز الى عدم البقاء طويلا في القاعة التي يعمل داخلها جهاز الاشعة السينية ، لان اختراق حزمة من الاشعة السينية للهواء يساهم في تأيينه واحداث تفاعلات ثانوية قد تكون ضئيلة التأثير على جسم الانسان ولكنها تبقى ، على الاقل ، غير مفيدة له.

ومن ناحية ثانية فان تعرض جسم الانسان ، مدة طويلة نسبيا ، للاشعة السينية يؤدي في بعض الاحيان لنقص في عدد الكريات الحمر والكريات البيض وقد يؤدي ايضا الى حروق جلدية كانت مميتة ورهيبة النتائج بالنسبة لبعض الباحثين.

وعلى العاملين في حقل الاشعة السينية ان يفحصوا باستمرار اجهزة الاشعة السينية بواسطة عداد جايجر أو يضعوا افلاماً خاصة على اجسامهم طوال النهار لمعرفة ما اذا كان هناك تسرب للاشعة من الجهاز من غير النافذة المعدة له او لمعرفة ما اذا كان الباحث نفسه قد تعرض للاشعة السينية اثناء عمله.

ان الجرعة التي يمكن لجسم الانسان تحملها دون مضاعفات هي حوالي ٠،٥ رونتغن في الاسبوع. اما اذا كانت الاطراف (اليدان والرجلان) هي المعرضة فقط فيمكن تحمل ١،٥ رونتغن في الاسبوع. ويبقى ان نشير الى ان الباحثين في ميدان صحة الاجهزة التناسلية يعتبرون ان عشر هذه الكمية فقط يمكن تحمله دون مضاعفات.

وسنعود إلى معالجة هذه الأمور في فصلا لاحق عند بحث التأثيرات البيولوجية للاشعة السينية.

الفصل الرّابع :
الأشعّة السّينيّة وعلم البلوريات

١.٤ - مقدمة:

سنتطرق في هذا الفصل الى علم مهم تطور وتشعب وترك بصماته في ميداني فيزياء وكيمياء الأجسام الصلبة وهو علم البلوريات. وهذه الاهمية تتجلى في عدم وجود أي مخبر في العالم متخصص في دراسة الاجسام الصلبة الا ويملك على الاقل جهازا مولدا للاشعة السينية وأجهزة قياس خاصة بدراسة البنية البلورية.

فكما أن لكل إنسان بصماته التي لا تتغير والتي تعتبر خاصة به ويستند اليها في ميادين عديدة لتحديد هوية الانسان، كذلك يملك كل بلور تركيبة البلوري الذي يعتبر خاصا به. وهذا ما جعل العلماء يسمون مخطط البلور التي نحصل عليها بواسطة حيود الاشعة السينية بصمة البلّور التي لا تتغير.

وسنحاول فيما يلي تقديم اكثر الطرق استعمالا للحصول على هذه «البصمات» وشرح علاقتها بالتركيب البلوري للاجسام الصلبة. فالاشعة السينية التي تستعمل في هذا الميدان هي عين متناهية الصغر تدخل المادة وتزودنا بالمعلومات حول ما ترى دون ان تؤثر فيها. اذ انه من الممكن، كما رأينا، ان تؤثر الاشعة على المادة فتحدث تغيرا بالخصائص الفيزيائية او الكيميائية كما يحدث عند تأثر ملح الفضة، الموجود في «فيلم» التصوير، بالضوء او الاشعة السينية.

ان العلم المسمى بعلم البلوريات وإستعمال الاشعة السينية لا يؤديان فقط الى معرفة البنية البلورية لجسم جامد معين بل يساهمان كذلك في كثير من الحالات بمعرفة طبيعة الذرات الموجودة في البلور أي بالتحليل الكيميائي للجسم، وهذا ما سنراه في الفصل التالي. كما ان معرفة البنية البلورية للاجسام الصلبة يساهم مساهمة ايجابية في فهم الخصائص الفيزيائية للاجسام الجامدة كالخصائص المغناطيسية والكهربائية والحرارية.

٢.٤ ـ الاجسام الصلبة

من المعروف ان المادة موجودة، بشكل رئيسي، في حالات ثلاث: الغاز والسائل والجماد، ففي الغاز تبتعد الذرات أو الجزيئات (molécules) بعضها عن بعض مسافات كبيرة نسبياً (نسبياً تعني ان المسافة هي كبيرة بالنسبة لأبعاد الذرة) وتتحرّك وتتصادم وتصدم جدران الوعاء الذي يحتويها. فالغاز يملك اذن ثقلا نوعياً صغيراً وقدرة هائلة على ملء أي وعاء مهما كبر حجمه.

واما في السائل، فتقترب الجزيئات بعضها من بعض ولكن التهيج الحراري يُبقي الذرات والجزيئات بشكل غير منظّم فالسائل اذن غير قابل للضغط تقريبا ولكنه لا يملك شكلا خاصا به اذ انه قادر على أخذ شكل الوعاء الذي يحتويه.

ويختلف ما يحدث في الجماد عمّا رأينا في الحالتين السابقتين، إذ أن قوى الجذب بين الذرات هي الغالبة فتربط بينها وتجعلها تحتل أمكنة معينة. ولكن هذا لا يعني ان الذرة في الجماد ثابتة في مكانها بل تتحرك وتهتز حول نقطة معينة (سنسميها فيما بعد عقدة) هي موقع الاتزان الخاص بكل ذرة.

ويمكن القول ان مفهوم الجزيء يختفي عند التكلم عن الجماد، اذ يبدو هذا الاخير وكأنه كومة من الذرات لها شكل خارجي محدد وثابت لا

يتغير. وامكنة هذه الذرات محدّدة بشكل عام اذ ان اي قطعة من الجماد، مهما صغر حجمها، تملك نفس الخصائص الفيزيائية لقطعة كبيرة. وهذا الجماد بلّور لان توزع الذرات داخله منظم ومحدد.

قد تبقى الذرات اثناء تجميد سائل معين بصورة سريعة في الامكنة التي كانت تحتلها في حالة السيولة وهي أمكنة غير منظمة مما يعني الحصول على جماد ذرّاته غير منظمة: يقال عندها بأن الجماد موجود في حالة زجاجية. والزجاج هو خير مثال على هذا النوع من الجماد.

وهناك انواع اخرى من الاجسام الجامدة لن نتطرق اليها، اذ ان اهتمامنا سينحصر بدراسة الاجسام الجامدة البلورية بواسطة الاشعة السينية لانها اكثر شيوعا في مراكز البحث بالرغم من وجود عدة فرق بالعالم تستعمل الاشعة السينية لدراسة جوامد غير بلورية بطرق تختلف عن تلك التي سنعرضها في هذا الكتاب.

وقد كان ما نعرف حول الحالة البلورية للاجسام الصلبة جد ضئيل قبل ان يكشتف لاو وبراغ امكانية حيود الاشعة السينية بواسطة البلوريات. فالعلم الذي يسمى اليوم بعلم البلوريات تكوّن بفضل تراكمات لمعلومات وملاحظات تجمعت بمرور الزمن. ولقد تم الحصول على هذه المعلومات بدراسة الشكل الخارجي بالعين المجردة او بالمجهر او بواسطة مقياس الزوايا المستعمل في البصريات الهندسية.

وبالرغم من ان دراسة الشكل الخارجي قد تعطي معلومات عما اذا كان الجسم الجامد بلورا ام لا، وعن الزوايا التي تشكلها فيما بينها المسطّحات الخارجية، بالرغم من ذلك فان هذه الدراسة تبقى بعيدة كل البعد عن المعنى الدقيق لعلم البلوريات الحديث الذي يعطي وصفا للبلور وللخلية الاساسية التي تكونه ويحدد الامكنة التي تكون فيها ذراته.

وقبل ارساء دعائم علم البلوريات الحديث، اي قبل تجارب لاو وبراغ، كان الفيزيائيون والكيميائيون قليلي الاهتمام بدراسة الجوامد ليس لقلة

أهميتها وانما لتكاثر المشاكل المفروض حلها عند الشروع بدراسة اي جسم صلب. ففي الغاز والسائل تتحرك الذرات او الجزيئات بحرية شبه كاملة وبكل الاتجاهات لتكافئها فيما بينها. واما في الجسم الجامد فالذرات شبه ثابتة، والاتجاهات متمايزة فيما بينها، مما يعقد محاولات تفسير الظواهر الفيزيائية والكيميائية.

ولهذا عمل الكيميائيون بشكل أساسي في ميدان الغازات والسوائل، لان حرية حركة الجزيئات تسمح، بسهولة نسبية، بحدوث التفاعلات الكيميائية. اما في الجامد فالموضوع يتعقد للترابط القوي القائم بين الذرات المؤلفة للبلور. وهذا الترابط بين الذرات يؤدي لقيام توزيع متناسق ومنظم للذرات داخل البلور وهذا ما اثبتته التجارب بواسطة حيود الاشعة السينية.

ان اهمية معرفة البنية البلورية للجسم الصلب تتجلى اذا ما قلنا بأن كل الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأجسام الجامدة تتصل إتصالا وثيقا بتوزع الذرات داخل البلور. فلقد برهن براغ بأن الخصائص التي لا تتصل بالبنية البلورية للجامد قليلة وأنها تتصل حتما بنوع الذرة الموجودة في الجسم الصلب. ويمكننا اعطاء الوزن كمثل على هذه الخواص.

لقد كتب وليم براغ ما يلي:

«ان أبسط مادة يمكن عزلها هي ذرة الهليوم الموجودة بحالة الغاز. فتصرف أي ذرة هليوم هو نفسه مهما كان مكانها في الغاز. ويأتي بعد ذرة الهليوم الجزيء وهي اصغر كمية من السائل او الغاز تتمتع بخواص المجموع. وبعد ذلك تأتي الوحدة البلورية وهي اصغر كمية تتمتع بخواص البلور. فهناك ذرات سيليكون وذرات أوكسجين وهناك جزيئات سيليكا (S_iO_2) وهناك وحدة بلورية: المرو (كوارتز) (Quartz) التي تحتوي على ثلاث جزيئات سيليكا فذرات السيليكون والأوكسجين ليست جزيء السيليكا كما أن جزيئات

السيليكا ليست المرو : فالوحدة البلورية المكونة من ثلاث جزيئات سيليكا منظمة بشكل معين هي التي تمثل المرو ».

من هذا المثل الذي اورده براغ يمكننا تصور القطيعة التي نشأت بين الكيمياء القديمة وبين كيمياء الاجسام الجامدة. فدراسة الكيميائيين المكثفة للغازات والسوائل اعطت للجزيء دورا مهما واساسيا في الكيمياء. فاذا كان من الممكن عزل جزيء واحد من غاز او سائل معين فانه من غير الضروري ان يبقى ذلك صحيحا : لا يمكن تصور عزل جزيء واحد جامد الا اذا كانت الوحدة البلورية تحتوي على جزيء واحد.

من المعروف كيميائيا منذ زمن طويل، ان الماس مؤلف من ذرات كربون (C) وكذلك حال الغرافيت. ولكن الكثير من خصائص الجسمين يختلف اذ اننا لم نرَ يوما ان الغرافيت يباع بسعر الماس. وهذا الاختلاف في الخواص يعود الى ان توزع ذرات الكربون في الماس يتم بشكل منظم، اما في الغرافيت فالتنظيم مفقود بين قسم وآخر أي أنه يتم بين الذرات المتقاربة وليس على مدى الجسم الجامد بأكمله.

ان الهدف الاساسي لدراسة البلورات بواسطة الاشعة السينية هو تحديد امكنة الذرات في الوحدة البلورية ليصار فيما بعد الى تفسير الخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة.

٣.٤ ـ المبادىء الاساسية لعلم البلورات

في الفصل المتعلق بطرق قياس طول موجة الاشعة السينية قلنا انه من الممكن استعمال بلور معين ذي بنية بلورية معروفة لقياس طول الموجة اعتمادا على قانون براغ المنوه به اعلاه. في هذا الفصل سنعتبر ان طول الموجة معروف من اجل استعماله، حسب قانون براغ، لدراسة البنية البلورية للأجسام الجامدة.

وتجدر الملاحظة ان الأشعة السينية المسلّطة على جسم جامد لا تعطي

صورة مباشرة له ، يستطيع أي شخص ان يستنتج منها طبيعة تركيبه البلوري. وان ما نحصل عليه ، بعد تحييد الجسم الجامد لحزمة الاشعة السينية ، هو عبارة عن طيف يجب دراسته وتحليله من اجل استنتاج البنية البلورية. وهذه الدراسة تتم اعتمادا على قوانين علمية ثابتة تسمى اليوم بعلم البلوريات. وهو علم هندسة تطبيقي له أهمية قصوى في ميادين فيزياء وكيمياء الاجسام الصلبة. وفيما يلي سنحاول اعطاء عرض موجز لقوانين علم البلوريات.

تقول الفرضية الاولى أن كل بلور ، مهما صغرت أبعاده ، مؤلف من عدد كبير من الوحدات البلورية. والوحدة البلورية هي اصغر جزء من البلور يحتوي على كل خصائص البلور بأكمله ما عدا فارقاً أساسياً هو ان الوحدة البلورية تحتوي على تناسق (تناظر) صورة صغيرة بينما البلور يحتوي ، اضافة الى تناظر الوحدة ، تناظراً اضافيا يعود لكون البلورة صورة كبيرة (لا متناهية الأبعاد بالنسبة لأبعاد الوحدة البلورية).

ويمكننا اعطاء مثل بسيط لايضاح ما سبق مكتفين بصورة مرسومة على مسطح اي بصورة ذات بعدين لا ثلاثة كما هي الحال بالنسبة لاي جسم له طول وعرض وارتفاع (كالبلور مثلا). وسنستمد مثلنا من ورق الجدران الذي يصبح معه الجدار المغطى به ـ كما هو معلوم ـ عبارة عن رسم اساسي يتردد كلما نقلنا نظرنا افقيا او عاموديا. فاذا كان هذا الرسم يتردد كل ٤٠ سم افقيا وكل ٦٠ سم عاموديا أمكننا القول أن ورق الجدران هو ترديد لمستطيل طوله ٦٠ سم وعرضه ٤٠ سم يوجد في كل زاوية من زواياه الاربع الرسم الاساسي الذي يحدد ورق الجدران المستعمل. وهذا المستطيل اصغر وحدة يمكن ان يؤدي ، بتتابعها افقيا وعاموديا الى تكوين كل الحائط : وهي تقابل الوحدة البلورية بالنسبة للجسم الصلب.

وقد يكون هذا الرسم الاساسي مربعا او دائرة او زهرة لها نوع معين من التناسق (التناظر) يعطي للحائط اضافة الى تناسق الرسم الاساسي

(Motif) تناسقا اضافيا يعود لأبعاد المستطيل المنوه به اعلاه. والحائط يقابل الجسم الجامد في علم البلوريات.

من المعروف، في علم البلوريات، أن هناك سبعة اشكال فقط للوحدات البلورية القادرة، بتتابعها في اتجاهات ثلاثة، على تكوين بلور موجود فعليا. وهذه الاشكال السبعة هي عبارة عن متوازيات مسطحات مبنية، في اتجاهات ثلاث، حسب ثلاث كميات متجهة (Vecteurs) لها طولها واتجاهها وتقيم فيما بينها زوايا محددة. وحسب اطوال هذه الكميات المتجهة فيما بينها وحسب قيمة الزوايا يمكن تحديد الاشكال السبعة للوحدة البلورية.

يشار عادة الى هذه الكميات المتجهة بـ $\vec{a}$ و $\vec{b}$ و $\vec{c}$ والى الزوايا بالاحرف α و β و γ. وسنوجز فيما يلي وصف الاشكال السبعة الآنفة الذكر:

أ ـ المكعّب:.

ويمكن تحديد هذا الشكل بالمعطيات التالية:

$a = b = c$

و $\alpha = \beta = \gamma =$ ٩٠ درجة (زاوية قائمة)

ب ـ النظام الرباعي:

$a = b \neq c$ ($\neq$ تعني يختلف عن)

$\alpha = \beta = \gamma =$ ٩٠ درجة

ج ـ مستقيم المعين:

$a \neq b \neq c$

$\alpha = \beta = \gamma =$ ٩٠ درجة

هـ ـ النظام الثلاثي:

$a = b = c$

و $\alpha = \beta = \gamma \neq$ ٩٠ درجة

ويمكن تصور الوحدة البلورية ذات النظام الثلاثي مكعباً ضُغِط بين قوتين متعاكستين مركّزتين على زاويتين متقابلتين بحيث اختلفت الزوايا عن الزاوية القائمة وبقيت متساوية فيما بينها.

و ـ النظام السداسي:

$$a = b \neq c$$

$\alpha = \beta =$ ٩٠ درجة

$\gamma =$ ١٢٠ درجة

ز ـ النظام احادي الميل:

$$a \neq b \neq c$$

$\alpha = \gamma =$ ٩٠ درجة

$\beta \neq$ ٩٠ درجة

ح ـ النظام ثلاثي الميل:

$$a \neq b \neq c$$

$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq$ ٩٠ درجة

مما سبق يمكن الاستنتاج، دون التعمق في دراسات نظرية، بأن المكعب يحتوي على تناظر اكثر بكثير من النظام ثلاثي الميل، مثلا، وهذا التناظر يجب ان يعطي بعض المواصفات لتوزع طيف الضوء السيني المحيّد بواسطة بلور ذي تناظر مكعب.

وعند محاولة تحديد البنية البلورية لجامد معين لا يمكن التوقف عن معرفة الشكل (الخارجي) للوحدة البلورية، بل يجب تعديها لمعرفة توزع الذرات داخل هذه الوحدة البلورية.

ولقد برهن العالم برافي (Bravais)، بطرق رياضية بحتة تحافظ على قيمة التناظر في البلور، انه إذا اخذنا كل التوزيعات الممكنة داخل

الوحدة البلورية أمكن التوصل الى ١٤ شبكة اسميت باسمه. ولن نستعرض هنا هذه الشبكات ويمكن للقارىء المتعطش لمزيد من المعلومات حول هذا الموضوع ان يراجع اي كتاب يناقش علم البلوريات.

ونكتفي بتقديم بعض الامثلة:

فبالنسبة للنظام المكعب يوجد ثلاث شبكات فقط هي:

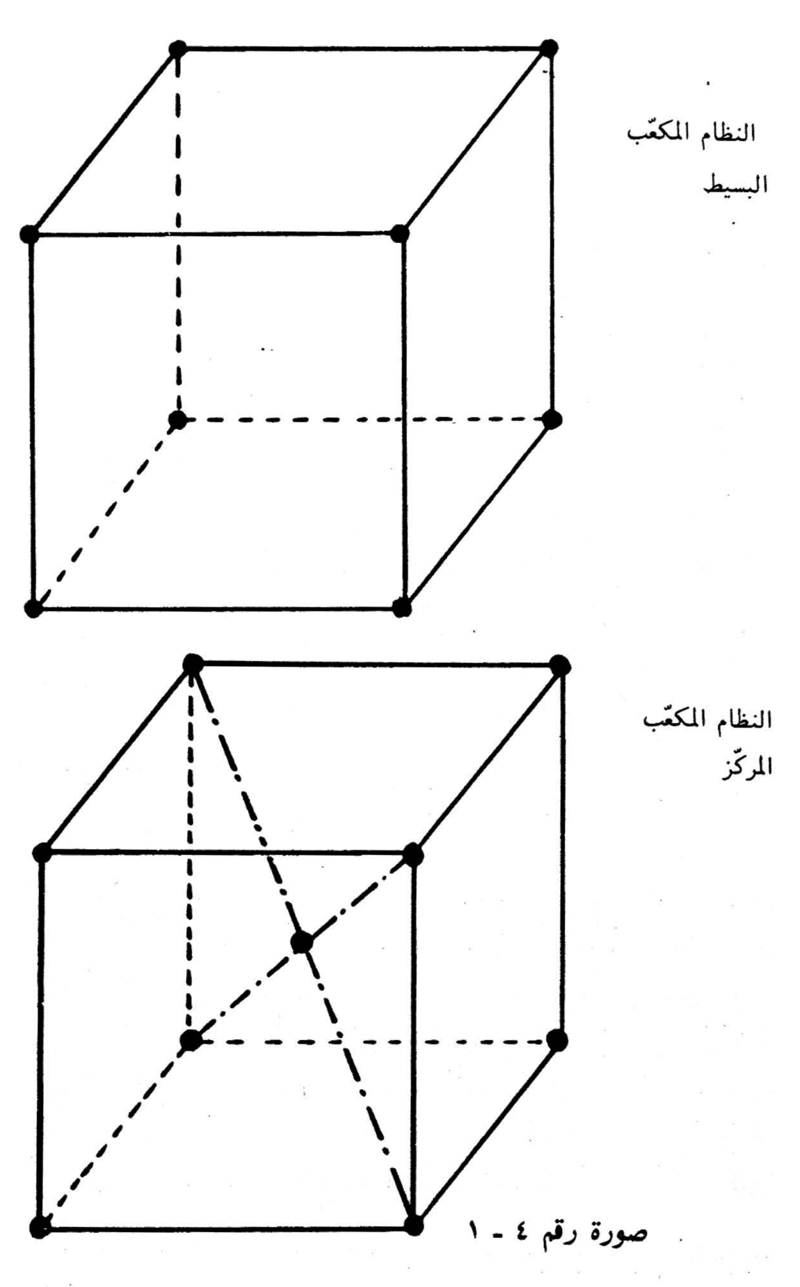
أ ـ النظام المكعب البسيط الذي تكون فيه الذرّات او الجزيئات او الرسم الاساسي الذي ذكرنا اعلاه، في الزوايا او الرؤوس الثانية فقط. ويسمى مركز هذا الرسم الاساسي بالعقدة (noeud) وهذا يعني ان المكعب البسيط يحتوي على ثماني عقد فقط (انظر صورة رقم ٤ ـ ١).

ب ـ النظام المكعب المركز: وهو يحوي اضافة الى العقد الثمان، الآنفة الذكر عقدة موجودة في مركزه او وسطه (صورة رقم ٤ ـ ١).

ج ـ النظام المكعب ذو الاوجه المركزة: وهو عبارة عن مكعب يحتوي اضافة الى عقد المكعب البسيط ست عقد موجودة في مراكز الاوجه الستة للمكعب. وتجدر الاشارة الى ان كل وجه من اوجه المكعب عبارة عن مربع.

٤.٤ ـ قرائن ميلر (Miller)

من الواضح انه من الممكن ايجاد عدد لامتناه من المسطحات التي تمر بعقدة (noeud) محددة في البلور. وبعض هذه المسطحات يمر بعقد اخرى موجودة في البلور نفسه او في الوحدة البلورية نفسها، وتسمى حينئذ المسطحات الشبكية. ويمكن قسمة هذه المسطحات الى «عائلات» كل عائلة منها تتألف من جميع المسطحات الشبكية المتوازية فيما بينها. فاذا اعتبرنا ان الجسم الجامد ذو أبعاد لامتناهية (بالنسبة لأبعاد الوحدة البلورية: من ٤ الى ٢٠ انغشتروم) اصبح عدد المسطحات، المؤلفة لكل عائلة، كبيرا جدا.



صورة رقم ٤ ـ ١

ولقد أوجد ميلر طريقه سهلة لتحديد كل واحدة من هذه العائلات تنطلق من اعتبارات هندسية بسيطة ويمكن ايجازها فيما يلي:

يتم لصق ثلاثة محاور احداثيات (ox, oy et oz) بالكميات المتجهة الثلاث ($\vec{a}, \vec{b}$ et $\vec{c}$) التي تحدد الوحدة البلورية المذكورة اعلاه ثم تحدد نقاط التقاء مسطح شبكي معين بهذه المحاور. وهذه النقاط هي:

(x,o,o) على محور ox

(o,y,o) على محور oy

(o,o,z) على محور oz

بعد ذلك يصار الى استخراج عكس قيمة x وعكس قيمة y وعكس قيمة z فنحصل على القيم: ($\frac{1}{x}$, $\frac{1}{y}$ et $\frac{1}{z}$) ثم يتم ايجاد أصغر ثلاثة اعداد صحيحة (h, k, l) متناسبة مع $\frac{1}{x}$ و $\frac{1}{y}$ و $\frac{1}{z}$. وتسمى هذه الاعداد الصحيحة بمعامل ميلر.

وكمثل على ذلك سنأخذ المسطح الذي يقطع ox في النقطة(1,0,0) و oy في النقطة (0,3,0) و oz في النقطة (0,0,2).

نعكس قيمة ١ = $\frac{١}{١}$ = ١

وعكس قيمة ٣ هو $\frac{١}{٣}$

وعكس قيمة ٢ هو $\frac{١}{٢}$

والاعداد الصحيحة هي: ٦ و ٢ و ٣

ويشار للمسطح بالارقام (6 2 3) وهي تشير لكل عائلة المسطحات الشبكية الموازية للمسطح المذكور اعلاه وهنا تقع اهمية قرائن ميلر لانها تشير بنفس الارقام الثلاثة (hkl) لكل المسطحات المنتمية لعائلة واحدة حسب التحديد الذي اعطيناه فيما سبق لمفهوم العائلة الشبكية.

ومن السهل ان نلاحظ ان المسطح الذي يقطع ox في النقطة (2,00) و oy في النقطة (0,6,0) و oz في النقطة (0,0,4) موازٍ للمسطح الذي ذكر اعلاه :

٢ تعطى $\frac{١}{٢}$

٦ تعطى $\frac{١}{٦}$

٤ تعطى $\frac{١}{٤}$

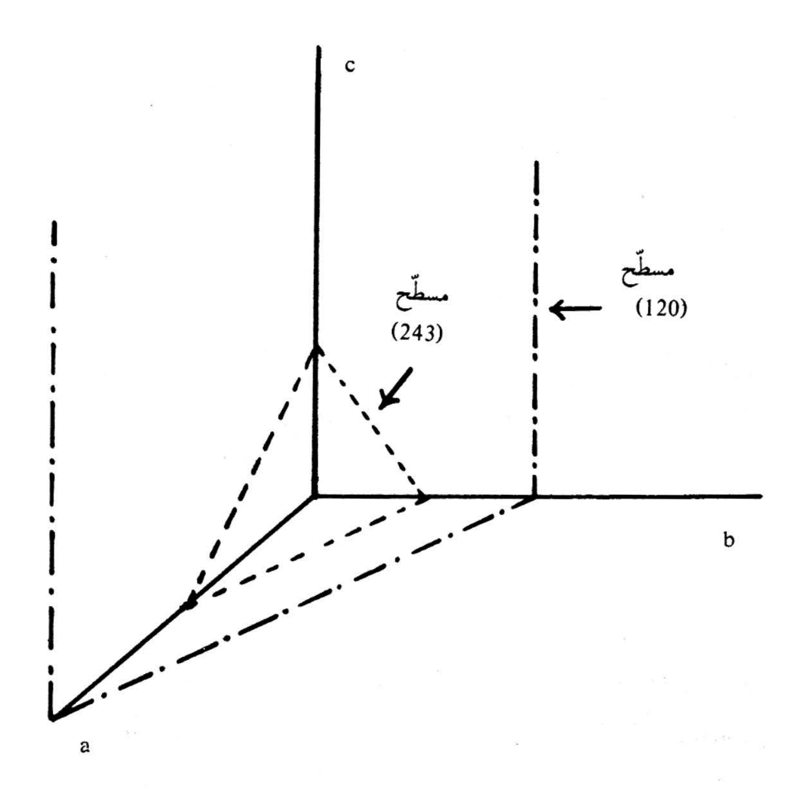
واصغر ثلاثة اعداد صحيحة متناسبة مع هذه الارقام هي ٦ و ٢ و ٣ وهذا يعطي نفس قرائن ميلر ويؤيد بالتالي ما اشرنا اليه اعلاه.

وتجدر الملاحظة الى انه عندما نقول بان المسطح يلتقي المحور ox في النقطة (3,00) فهذا يعني ان النقطة تبعد مقدار ثلاثة اضعاف طول القيمة المتجهة $\vec{a}$ عن مركز الاحداثيات اي ان وحدة القياس على طول ox هو طول القيمة المتجهة $\vec{a}$. ويمكن قول الشيء نفسه بالنسبة للمحور oy والقيمة المتجهة $\vec{b}$ والمحور oz والقيمة المتجهة $\vec{c}$.

وقد أوضحنا في الصورة رقم ٤ ـ ٢ مسطّحين شبكيين في وحدة بلورية محددة بالقيم المتجهة $\vec{a}$,$\vec{b}$ و $\vec{c}$.

ان المسافة d بين مسطحين شبكيين متتاليين ينتميان لعائلة واحدة (اي يشار اليهما بنفس قرائن ميلر الثلاثة (hkl) هي ثابتة وتعتمد على أبعاد وزوايا الوحدة البلورية وعلى معاملات ميلر الثلاثة. ولن نبرهن هنا على علاقة هذه المسافة بما ذكرنا اعلاه لان ذلك يتطلب ادخال مفاهيم جديدة لم نتطرق اليها في هذا الفصل ولا يتسع المجال لذكرها (مفهوم الشبكة العكسية).

سنعطي فقط بعض الامثلة :



صورة رقم ٤ ـ ٢

مسطّحان شبكيان

في النظام المكعب :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2}$$

في النظام الرباعي :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

في النظام مستقيم المعين :

$$\frac{1}{d^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$

٤.٥ ـ حيود الاشعة السينية بواسطة البلوريات

لقد رأينا سابقا ان الاشعة المحيّدة تتداخل محدثة ظاهرة معروفة في علم البصريات الفيزيائية هي ظاهرة التداخل وهذا يعني ان الاشعة المنتشرة في المنطقة المحيطة بالبلور تكوّن اماكن شدة الضوء فيها كبيرة واماكن اخرى شدة الضوء فيها صغيرة او معدومة. وقلنا سابقا ان الاماكن الشديدة الضوء تحدد بواسطة زاوية اسميناها Θ يعطيها قانون براغ بالمعادلة التالية (الصورة رقم ٣ ـ ٢).

$$2\ d \sin \Theta = n \lambda$$

n= عدد صحيح

λ = طول الموجة السينية المستعملة

d= المسافة بين مسطحين ينتميان لعائلة واحدة يشار اليها بمعامل ميلر

ونلاحظ ان هذه المعادلة تبقى صحيحة إذا اصبحت d تمثل المسافة بين مسطحين غير متجاورين ($d' = 2d$ مثلا):

$$2\ d \sin \Theta = n \lambda$$
$$2\ \frac{d'}{2} \sin \Theta = n \lambda$$
$$2\ d' \sin \Theta = 2n\lambda = n'\lambda$$

حيث تبقى n' عددا صحيحا وهذا هو الشرط الوحيد الذي يتطلبه قانون براغ واما إذا اخذنا ($n=1$) فان المسافة الوحيدة التي يعطيها قانون براغ هي تلك التي تفصل مسطحين متجاورين، أي اقصر مسافة بين المسطحات المنتمية للعائلة (h,k,l). وهذه النتيجة لها اهميتها في الدراسات الهادفة لتحديد التركيب البلوري لجسم جامد معين.

ان تحديد الزوايا Θ يعطينا المسافات بين بعض المسطّحات الشبكية في

نظام بلوري معين، وهذا يعني بقاء الدراسة في حيز الهندسة التي لا تأخذ بعين الاعتبار طبيعة الذرات المكونة للجسم الجامد واماكن تواجد الذرات او الجزيئات في الوحدة البلورية. فهذه الخصائص المميزة للمادة ولبنيتها البلورية تؤثر على شدة الضوء في النقاط او الاتجاهات المحددة بالزوايا. وبكلام آخر فان شدة الضوء بين اتجاه وآخر تتفاوت فيما بينها بسبب اختلاف توزع الجزيئات والذرات في الوحدة البلورية.

ويتبين مما سبق ان دراسة البنية البلورية تستدعي:

أ - قياس الزوايا Θ التي تساعدنا على امكان معرفة المسافات بين المسطحات الشبكية، وبالتالي الاقتراب من فهم هندسة الوحدة البلورية وخاصة معرفة أبعاد وزوايا الوحدة البلورية المذكورة.

ب - قياس شدة الاشعة المحيّدة في كل الاتجاهات المحددة بالزوايا Θ ومحاولة معرفة اماكن تواجد الذرات انطلاقا من هذه القياسات ومقابلتها بالشدة النظرية المفروض الحصول عليها.

ولكن كيف يتم حساب شدة الاشعة السينية المحيدة بواسطة عائلة مسطحات متوازية؟

ولكل نوع من انواع الذرات قدرة على نشر الاشعة تسمى معامل النشر الذري ويشار اليها بحرف f. وهذا المعامل يعتمد على العدد الذري للذرة، وعلى قيمة الزاوية Θ وطول الموجة السينية المستعملة . واما اذا كانت قيمة الزاوية Θ صغيرة جدا فإن قيمة f تصبح مساوية للعدد الذري z الخاص بالذرة الناشرة للاشعة السينية.

ان شدة الاشعة المحيدة في الاتجاه Θ او بالأحرى إن شدة حز التحييد بواسطة عائلة مسطّحات (h,k,l) تعتمد على حاصل ضرب عامل البنية F بنفسه. وعامل البنية هذا يعتمد على توزيع الذرات في الوحدة البلورية وعلى معامل النشر الذري f : (F= facteur de structure)

$$F = \Sigma_{J)} \quad f_j \exp\left[-2\pi i (h x_j + k y_j + l z_j)\right]$$

حيث

h,k,l= قرائن ميلر الثلاث

j= تحدد الذره

x_j, y_j et z_j= تحدد مكان الذره j . فلو اعتبرنا ان الذرة موجودة في مركز المكعب فان x_j= ١/٢ و y_j= ١/٢ و z_j= ١/٢ اي انها اعداد صافية (nombres purs) لا تقاس بالمتر او اي وحدة قياس اخرى .

وتتمثل شدة حز التحييد بالمعادلة التالية :

$$I = Lp\ F^2$$

حيث ان

L= معامل لورنتز (Coefficient de Lorentz)

وهو يعتمد على هندسة الجهاز المستعمل للحصول على اشعة سينية محيدة

P = عدد عائلات المسطحات التي تملك نفس المسافة d بين مسطحين متجاورين ينتميان لنفس العائلة .

مما سبق يمكننا ان نستنتج أن اماكن تواجد الذرّات داخل الوحدة البلورية يؤثر تأثيرا واضحا على شدة حز التحييد . وبالتالي فان محاولة معرفة كيفية توزع الذرات داخل الوحدة البلورية يجب ان يمر مبدئياً بدراسة شدة مختلف حزوز التحييد .

لنأخذ مثلا شدة الاشُعة في نظام المكعب المركّز :

في هذا النظام عقدتان اساسيتان : عقدة في رأس المكعب ، اي في النقطة (0,0,0) وعقدة في النقطة ($\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{2}$) . فاذا افترضنا وجود ذرة في كل عقدة (كما هو حال الصوديوم (Na) أصبح بامكاننا كتابة عامل التركيب F على الشكل التالي :

$$F= f[\exp - 2\pi i(0+0+0) + \exp - 2\pi i(h/2+k/2+l/2)]$$

$$F= f[1+\exp -\pi i \ (h+k+l)]$$

ومن السهل ان نلاحظ ان

F = صفر اذا كان (h+k+l) عددا مفردا (١ أو ٣ أو ٥ أو ٧ . . .)

F = 2f اذا كان (h+k+l) عددا مزدوجا (٢ أو ٤ أو ٦ أو ٨ . . .)

فاذا ما اجرينا تجربة على مادة نعرف ان وحدتها البلورية مكعبة الشكل ، وحصلنا على كل الاشعة السينية في كل الاتجاهات ، ووجدنا ان الاشعة المحيّدة بواسطة المسطحات التي يساوي h+k+l عددا مفردا هي ذات شدة معدومة وان تلك المحيدة بمسطحات تساوي فيها h+k+l عددا مزدوجا وهي ذات شدة غير معدومة أصبح بامكاننا القول ان النظام الموجود في المادة هو نظام المكعب المركّز :

ومن هذا المثل البسيط تتجلى اهمية قياس شدة الاشعة السينية المحيدة وقياس الزوايا Θ : وقد استنبط العاملون في هذا الحقل ، منذ تجربة لاو التاريخية وحتى اليوم ، طرقا عديدة ترتكز على تقنيات مختلفة من أجل اجراء القياسات الآنفة الذكر . ولكن يبقى من الممكن جمع كل هذه الطرق في مجموعتين أساسيتين :

- الطرق الفوتوغرافية التي تعتمد تأثر لوحة تصويرية حساسة بشدة الأشعة السينية المحيدة .

- طرق القياس الكهربائية والالكترونية التي تعتمد على استعمال عدادات كعدّاد جايجر مثلا .

وفيما يلي سنحاول تقديم وصف موجز لبعض التقنيات المستعملة في ميدان البحث عن البنية البلورية للأجسام الصلبة .

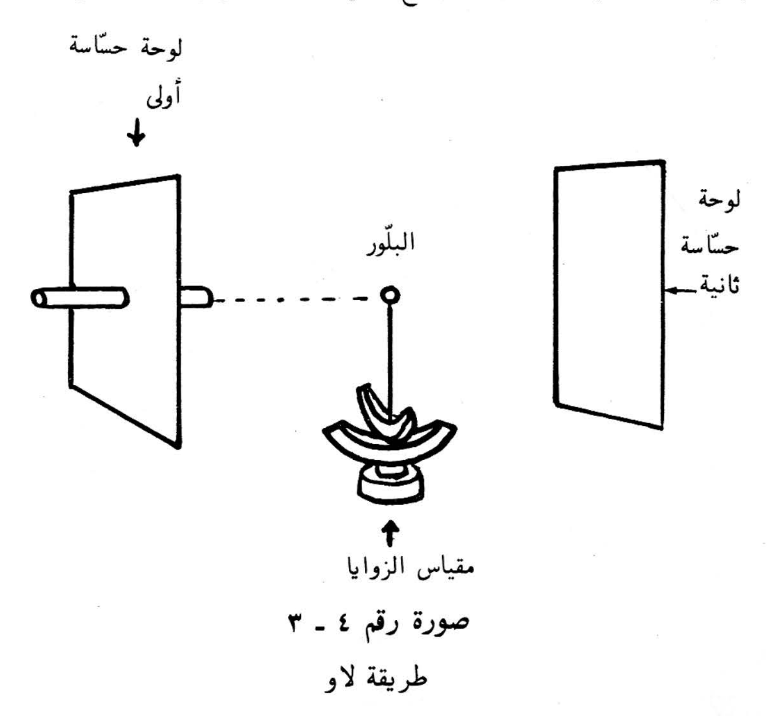
٤ . ٥ . ١ - طريقة لاو (Laue)

ان ها الطريقة التي استعملها العالم لاو أو هي بالحري الطريقة التي

سمحت له أن يبرهن على موجية الاشعة السينية ، وعلى وجود شبكة في الاجسام الجامدة قادرة على تحييد الاشعة السينية .

وفي هذه الطريقة لا يمكن استعمال اي جامد مهما كان شكله وانما يجب استعمال بلور أحادي اي بلور يتكون من تراكم الوحدات البلورية بعضها فوق البعض الآخر بطريقة خاصة تجعل كل القيم المتجهة a في جميع الوحدات البلورية متوازية فيما بينها . وكذلك حال القيم المتجهة b والقيم المتجهة c .

ويصار الى تثبيت البلور الاحادي بحيث يتلقى حزمة اشعة سينية متعددة طول الموجة فيتم تحييد الموجات التي تستجيب لقانون براغ الذي ذكرنا سابقا . بكلام آخر يتم تحييد الموجة ذات الطول λ بواسطة مسطحات شبكية منفصلة بمسافة d وتشكل مع الحزمة المسلطة زاوية تعادل قيمة Θ



صورة رقم ٤ ـ ٣

طريقة لاو

المعطاة بقانون براغ.

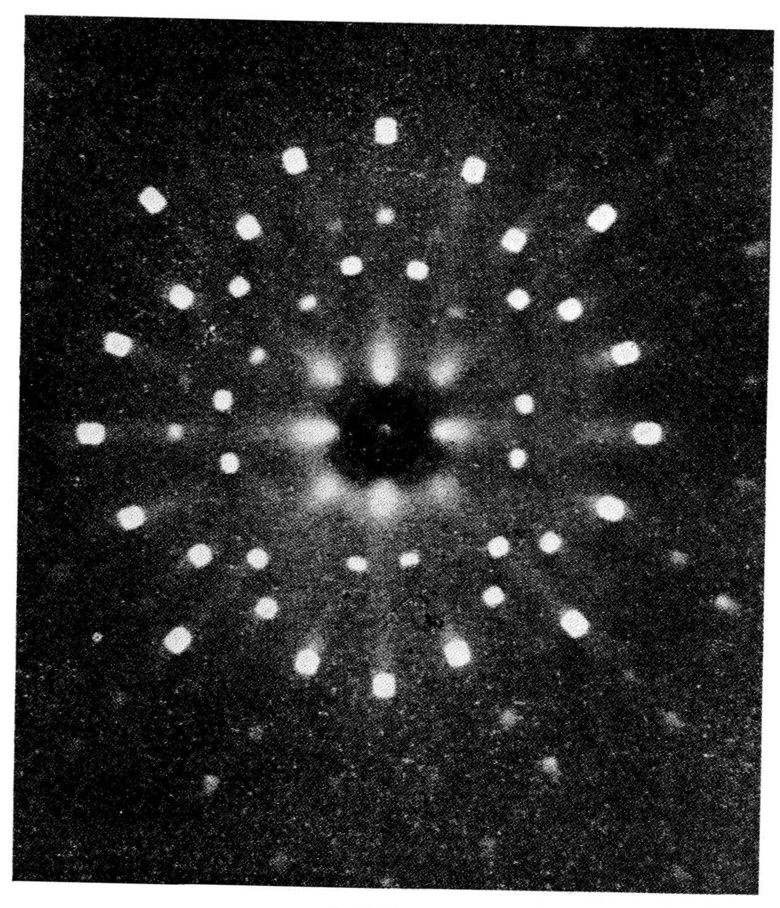
ويثبّت البلور على مقياس زوايا ويسلط عليه اشعة سينية (انظر الصورة رقم ٤ ـ ٣) يتم تحييدها بكل الاتجاهات ويصار الى وضع لوحة حساسة بعد البلور او قبله للحصول على أماكن شدة الضوء، فيتم الحصول على صورة مليئة بالبقع حيث وصلت الاشعة الشديدة واثرت على اللوحة. ومن توزع هذه البقع على الصورة يتم استنباط تناظر (تناسق) البلور والتعرف على شكل وحدته البلورية. وهذه الطريقة كثيرة الاستعمال في ميدان فيزياء الاجسام الصلبة التي تحتاج لتوجيه البلور بحيث تكون القيمة المتجهة a مثلا موازية لاتجاه معين.

الصورة رقم ٤ ـ ٤ تبين انموذجا للمخطط التي نحصل عليها بطريقة لاو. وهي تظهر محور تناظر من الدرجة الرابعة. وبكلامٍ آخر نلاحظ انه من الممكن ان ندير الصورة حول محور عامودي على مسطحها ربع دورة كاملة (اي زاوية $\frac{2\pi}{4}$) دون ان يتغير الشكل النهائي للصورة من ناحية توزع البقع عليها. (البلور المستعمل هو ملح الطعام).

ولنضرب مثلا: لو ادرنا مربعا حول محور عامودي على مسطحه حتى تشكيل زاوية $\frac{2\pi}{4}$ فان المربع يبقى نفسه لان اضلاع المربع متساوية. عندها يقال بان المربع يملك تناظراً او محور دوران من الدرجة الرابعة.

ويعني وجود مثل هذا المحور في صورة لاو أن في البلور محورا من نفس الطبيعة. ومن اجل استقصاء كل محاور الدوران او التناسق (التناظر) في البلور يجب تغيير اتجاه البلور بالنسبة للاشعة السينية المسلطة. وتتم هذه العملية بواسطة مقياس الزوايا (انظر الصورة رقم ٤ ـ ٣). ومن الطبيعي القول بأن معرفة (تناظر) تناسق البلور تؤدي الى معرفة شكل ونظام الوحدة البلورية. وقد تكون المعرفة غير كاملة ولكن تبقى المعلومات مهمة جدا في دراسة البنية البلورية لجسم جامد معين.

ان المعرفة الكاملة للوحدة البلورية تستدعي، الى جانب معرفة



صورة رقم ٤ - ٤

صورة تم الحصول عليها
بطريقة لاو

النظام ، معرفة اطوال القيم المتجهة والزوايا التي تشكلها فيما بينها . وهذا ما يتم فعلا بواسطة تقنيات اخرى وضعت موضع التنفيذ بعد اكتشاف لاو الآنف الذكر . واهم الطرق المستعملة في هذا المجال هي تلك التي تستخدم البلور الدائر والبلور المسحوق .

٤ .٥ .٢ - طريقة البلور الدائر

في هذه الطريقة يدور بلور أحادي حول محور موجود على مسار الاشعة السينية الأحادية طول الموجة. ان تغير الزاوية Θ بين المسطحات الشبكية وحزمة الاشعة المسلطة يجعل من الممكن وجود بعض القيم للزاوية بحيث يحصل حيود للاشعة السينية حسب قانون براغ:

$$2d \sin \Theta = n \lambda$$

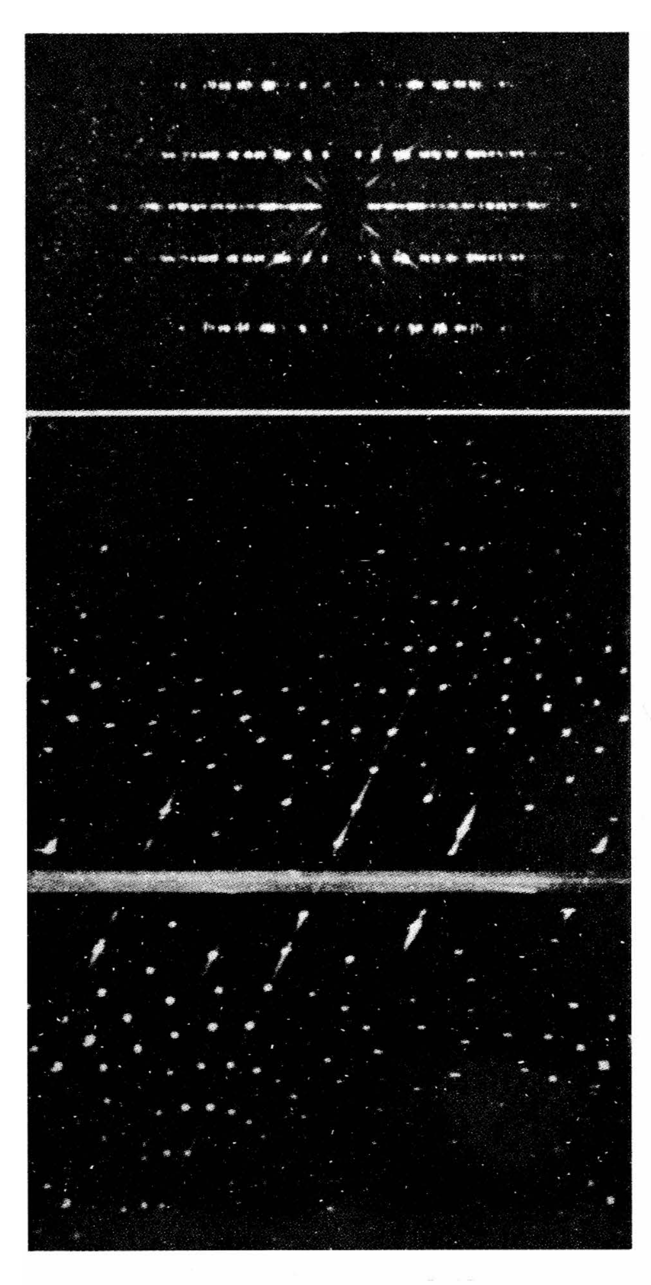
ولقد اوجد العلماء عدة أنواع من هذه الطريقة تختلف فيما بينها بطريقة دوران البلور الأحادي وطرق قياس شدة الاشعة المحيّدة. فمنها ما يستعمل الطرق الفوتوغرافية ومنها ما يستعمل العدادات والاجهزة الالكترونية. ولا شك ان الانواع الثانية تعطي نتائج اكثر دقة من تلك التي تستعمل الطرق الفوتوغرافية.

اما بالنسبة للاختلاف من حيث دوران البلور فيوجد بعض الطرق كتلك المسماة طريقة فايزنبرغ (weisenberg) وهي تجعل البلور يتأرجح بين زاويتين معيّنتين عوض ان يدور دورة كاملة أي ما يعادل زاوية ٣٦٠ درجة.

وفي الصورة رقم (٤ - ٥) نماذج لما نحصل عليه بطريقة فايزنبرغ. ودراسة هذه الصور تعطي معلومات عن تناظر الوحدة البلورية وخاصة وجود محور تناظر او محور دوران من الدرجة الثانية. وتجدر الملاحظة ان الغرفة المظلمة التي توضع فيها اللوحة الحساسة صممت قياساتها بحيث تسهل دراسة مخطط فايزنبرغ اذ ان البقع تتواجد على خطوط مستقيمة تتشكّل مع الخط الوسطي زاوية ٤٥ درجة.

٤ .٥ .٣ - طريقة البلور المسحوق

كما يدل عليها اسمها فان هذه الطريقة تستعمل البلور بشكل مسحوق اي ان القيم المتجهة (a مثلا) ليست متوازية فيما بينها بل موزعة في كل



صورة رقم
٤ - ٥
طريقة
فايزنبرغ

الاتجاهات ، وهذا ما يجعل استعمال القوانين الاحصائية ضرورية لدراسة النتائج .

وهناك ، كما في الطريقة الآنفة الذكر ، عدة انواع من الطرق التي تستعمل البلور المسحوق تختلف فيما بينها بطرق قياس الاشعة المحيّدة . فهناك الطرق الفوتوغرافية والطرق التي تستعمل العدادات والاجهزة الالكترونية .

والطريقة الاكثر شهرة هي تلك المسماة دبي شرر (Debye-Scherrer) وتستعمل فيها اللوحات الحساسة او العدادات والاجهزة الالكترونية . وهي سهلة الدراسة نسبيا اذ انها تسمح بقياس أبعاد وزوايا الوحدة البلورية وبمعرفة طبيعة النظام البلوري فيها . وتستعمل هذه الطريقة بكثرة خاصة في البلورات ذات الانظمة البلورية العالية التناظر كالمكعب والنظام الرباعي وغيرهما .

وفي الصورة رقم (٦٠٤) نموذج لما نحصل عليه بطريقة دبي شرر وبالطريقة الفوتوغرافية .

وسنجد في الفصل المقبل نماذج من مخطط دبي شرر تمّ الحصول عليها بواسطة عدّاد واجهزة الكترونية رسمتها على ورقة معدة لهذا الهدف .

٦.٤ ـ امثلة على البنية البلورية :

تعتبر البنية البلورية لجسم جامد معين معروفة اذا ما تم الحصول على المعلومات التالية :

اولا : النظام البلوري وشكل الوحدة البلورية
ثانيا : أبعاد الوحدة البلورية وزواياها
ثالثا : امكنة وجود الذرات في الوحدة البلورية

ويمكن الحصول على المعلومات الاولى والثانية من اي مخطط دبي شرر استعمل فيها البلور مسحوقا ، او من دراسة بلور احادي بواسطة الاجهزة



$Mn_4N \rightarrow 1$

$M_{N2}N_{o\ 94}$

RuO

صورة رقم ٤ ـ ٦

طريقة دبي ـ شرر

التي اشرنا اليها اعلاه، او بواسطة اجهزة معقدة تستعمل التقنيات الالكترونية والمعلوماتية. وكمثل على ذلك يمكن ذكر مقياس الزوايا ذا الدوائر الاربع وهو يسيّر بواسطة حاسب الكتروني (كمبيوتر) يعمد، ايضا، الى جمع النتائج وفرزها. وتجدر الإشارة الى ان اكثر المخابر المتخصصة في الأبحاث عن البنى البلورية للاجسام الصلبة تملك على الاقل جهازا من هذا النوع.

ويستنتج النظام البلوري وأبعاد وزوايا الوحدة البلورية من قيم الزوايا Θ التي تم الحصول عليها على المخططات اذ ان قانون براغ يعطينا بعملية حسابية بسيطة قيم المسافات الشبكية d. وتحليل هذه المسافات يؤدي الى معرفة المسطّحات التي حيّدت الاشعة السينية والانتقال الى النظام البلوري وأبعاد وزوايا الوحدة البلورية.

واما المعلومات الثالثة فلا يمكن الحصول عليها الا بقياس شدة الاشعة السينية المحيّدة في كل الاتجاهات. ومثل هذا القياس كان يتم في بداية عصر استعمال الاشعة السينية بالطرق الفوتوغرافية. وبالرغم من قلة الدقة في مثل هذه الطرق فقد توصل العلماء الى الكثير من النتائج القيمة التي ما زالت تعتبر صحيحة حتى يومنا هذا. وأما اليوم فالقياس يتم بواسطة عدادات دقيقة تسجل وتجمع وتفرز بواسطة اجهزة الكترونية او بواسطة الجهاز المسيّر بواسطة الكمبيوتر الذي اشرنا اليه اعلاه.

كيف يتم وصف بنية بلورية معينة؟

يتم هذا الوصف باعطاء المعلومات التالية

- النظام البلوري: مكعب، نظام رباعي... الخ
- نوع الشبكة البلورية: مكعب بسيط، مكعب مركّز... الخ
- أبعاد وزوايا الوحدة البلورية: ضلع المكعب مثلا...
- توزّع الذرات داخل الوحدة البلورية.

وفيما يلي سنعطي مثلين عن البنية البلورية: ملح الطعام والماس

٤ .٦. ١ - ملح الطعام :

من المعروف ان جزيء ملح الطعام مؤلف من ذره صوديوم Na ومن ذرة كلور Cl ولكل ذره من الذرتين معامل نشر ذري خاص بها ، وهذا ما يجعل من الممكن تحديد مكان كل منهما في الوحدة البلورية انطلاقا من قياس شدة الاشعة السينية المحيدة ومن المعادلة التي رأينا سابقاً أنها تمثل قيمة هذه الشدة .

ولن نتطرق للمراحل التي يمر بها البحث عن البنية البلورية لملح الطعام بل سنكتفي باعطاء النتائج :

- النظام هو المكعب
- والشبكة هي المكعب ذو الاوجه المركزه
- الزوايا التي تشكلها القيم المتجهة المكونة للوحدة البلورية ($\vec{a},\vec{b}$ et $\vec{c}$) جميعها قائمة اي تساوي ٩٠ درجة .
- ضلع المكعب يساوي ٥٫٦٣ انغشتروم ($5,63^{0}$)
- الذرات موزعة كما يلي (انظر الصورة رقم ٧٠٤) :

الصوديوم موجود في النقاط :

$$(0,0,0) \quad (\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0) \quad (\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}) \quad (0, \frac{1}{2} \ \frac{1}{2})$$

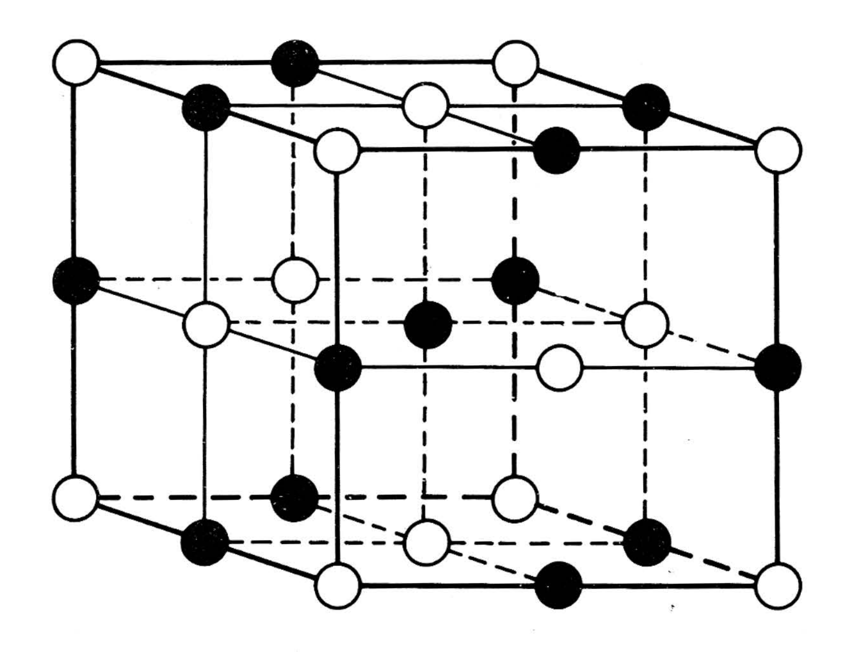
والكلور موجود في النقاط :

$$(\frac{1}{2},\frac{1}{2},\frac{1}{2}) \quad (0,0,\frac{1}{2}) \quad (\frac{1}{2},0,0) \quad (0,\frac{1}{2},0)$$

وكل ذرة صوديوم محاطة بست ذرات كلور والعكس بالعكس ، وكل وحدة بلورية تحتوي على اربع جزيئات ملح طعام .

٤ .٦. ٢ - الماس

يتألف الماس ، كما قلنا سابقاً من ذرات كربون فقط . وسنقدم النتائج



صورة رقم ٤ ـ ٧

بنية ملح الطعام

بنفس الطريقة التي قدمنا بها آنفا :

- النظام هو المكعب
- الشبكة هي ايضا المكعب ذو الاوجه المركزه
- الزوايا قائمة
- ضلع المكعب يساوي ٥٦ر٣ ^{0}A ($3,56^0$A)
- ذرّات الكربون موجودة في النقاط :

$$(0,0,0) \quad (\frac{1}{2}.\frac{1}{2}.0) \quad (\frac{1}{2}.0.\frac{1}{2}) \quad (0.\frac{1}{2}.\frac{1}{2})$$

(1/4,1/4,1/4) (3/4,3/4,1/4) (3/4, 1/4, 3/4) (1/4, 3/4, 3/4)

تحتوي الوحـــدة عـــلى ثماني ذرات كربون . وتجـــدر الاشارة الى ان الجرمانيوم والسيليسيوم يملكان نفس البنية البلورية الخاصة بالماس : يبقى الوصف هو نفسه ما عدا قيمة ضلع المكعب التي تتغير بتغير طبيعة الذره الموجودة في البلورة فهو يساوي ٥ر٤٣ Å في السيليسيوم و ٥ر٦٥ Å في الجرمانيوم .

٤ .٧ ـ عيوب البنية البلورية وشوائبها

في البلور الكامل تحتل الذرات اماكن محددة ، او بكلام آخر ، تتذبذب الذرات حول نقاط ثابتة تسمى مواقع الاتزان . وقد يحصل خلل في توزع الذرات هذا دون ان يصبح ظاهرة جماعية في البلور . فمثلا قد تنقص ذرة في مكان ما او تحتل ذرة مكانا غير مكانها دون ان يؤدي ذلك الى القضاء ، على النظام البلوري السائد في البلور .

ودراسة هذه الشوائب والعيوب تعتبر ذات اهمية قصوى . فاذا كانت هذه الشوائب كثيرة نسبيا وتتوزع بانتظام في البلور أصبح بالامكان ، بواسطة حيود الاشعة السينية (وحيود النوترونات في بعض الاحيان) تحديد اماكنها وذلك انطلاقا من قياس شدة الاشعة السينية المحيدة .

وفي الكثير من المركبات الأيونية تعود القدرة على نقل الكهرباء الى حركة الايونات وبكلام آخر ، فإن قدرة بعض المركبات (oxides, sulfides...) على نقل الكهرباء تعود إلى الشوائب في البنية البلورية التي قد تزيد او تخفض من قدرة الايونات على الحركة .

وتغير نسبة الشوائب قد يغير النظام البلوري السائد والكثير من الخصائص الفيزيائية للأجسام . ويمكننا اعطاء المثل التالي الذي تمت فيه الدراسة بواسطة حيوذ الاشعة السينية وحيود الفوتونات :

بعد احداث نقص في عدد ذرات النتروجين (Azote) في المركب Mn_2N والحصول على المركب $Mn_2N_{0,92}$ يتبين ان هذا المركب يملك النظام البلوري المسمى بمستقيم المعين. وبعد زيارة عدد الذرات الناقصة يتبين ان المركب $Mn_2N_{0,86}$ لم يعد يملك النظام المذكور اعلاه بل النظام السداسي دون ان يؤدي ذلك الى تغيير في طبيعة الرباط القائم بين المنغنيز (Mn) والنتروجين (N). ويبقى مفيدا ان نشير بسرعة الى أن البنية المغناطيسية في كل من هذين المركبين تختلف اختلافا جوهريا عن الأخرى دون تغير في قيمة العزم المغناطيسي لكل ذرة منغنيز.

واخيرا يستحسن ان نشير الى ان الكمال ليس دائما هو الاجمل والاغلى فالكل يعلم تعلق النساء ببريق الماس وبعدد الوانه الزاهية والجميلة. وتعود هذه الالوان الى وجود بعض العيوب في بنية الماس البلورية مما يغير خصائصه البصرية ويعطي هذا الاختلاف بالالوان.

ولقد استطاع العاملون في حقل البلوريات صناعة الكثير من الماس تحت ضغط مرتفع، ولكنه لم يطرح في الاسواق لارتفاع تكاليف صناعته أولا ولأنه لن يرضي النساء ثانياً بالدرجة التي يرضي بها الماس الطبيعي، حتى وإن أرضى الكيميائيين والفيزيائيين بخصائصه الكيميائية والفيزيائية.

الفصْل الخامِسْ :
الأشعّة السّينيّة والكيمياء

١.٥ ـ مقدمة

سنتطرق في هذا الفصل الى بعض استعمالات الاشعة السينية في ميادين الكيمياء. فمن المعروف ان هناك ميدانين مهمين في الكيمياء: الكيمياء المعدنية وتتعرض للخصائص الكيميائية للمعادن ومشتقاتها، والكيمياء العضوية التي تتعرض لدراسة المركبات غير المعدنية كالخلايا الحية وغيرها. ولن نفصل استعمال الاشعة السينية في الكيمياء حسب هذين المبدأين، بل سنختار تفصيلا آخر نراه يساعدنا على تقديم عرض افضل لما نريد طرحه في هذا الفصل دون ان يعني ذلك اننا سنتطرق الى كل استعمالات الاشعة السينية في الكيمياء لأن الموضوع أولا كثير الاتساع والتشعب وثانيا لأن بعض هذه الاستعمالات ما يزال في نطاق البحث العلمي حيث يصعب حصر كل ما يجري في العالم حول هذا الموضوع.

ولكن يبقى من الممكن حصر استعمال الاشعة السينية في الكيمياء بقسمين:

أ ـ استعمال الاشعة السينية كوسيلة فحص لتركيب المادة دون ان تؤثر فيها، اي كوسيلة تحليل كيميائي من حيث الهدف دون ان تغير طبيعة المادة بإحداث تفاعلات كيميائية.

ب ـ تعامل الاشعة السينية مع المادة والتأثير عليها باتجاه تغيير تركيبها

الكيميائي كما يحصل عند تأثر ملح الفضة في اللوحة الحساسة المعدة للتصوير عند تلقيها حزمة الاشعة السينية.

٢.٥ ـ معرفة طبيعة المادة بواسطة حيود الاشعة السينية:

في الفصل الرابع اوجزنا بعض المعلومات حول الانظمة البلورية وحول استعمال الاشعة السينية في تحديد النظام البلوري السائد في مادة معينة.

وهناك ميدان قائم بذاته في الكيمياء يسمى بالكيمياء البنيوية وهي تهدف لمعرفة البنية البلورية لخليط جديد او لمادة جديدة تم تركيبها كيميائيا. وتسير الامور بالطريقة التي شرحنا في الفصل السابق اي بالبحث عما يلي:

أ ـ النظام البلوري وشكل الوحدة البلورية
ب ـ أبعاد وزوايا الوحدة البلورية
ج ـ توزع الذرات داخل الوحدة البلورية

وهذا العمل يفترض معرفة طبيعة الذرات المكونة للمادة المدروسة وبالتالي معرفة معامل النشر الذري الذي يدخل في حساب شدة الاشعة السينية المحيدة (راجع الفصل الرابع). ولكن يواجه الكيميائيون حالات عديدة لا يعرفون فيها، بما يستوجب الامر من دقة، طبيعة الجزيء المكونة للمادة وان كانوا يعرفون طبيعة الذرات الموجودة.

ولنضرب مثلا على ذلك.

عند محاولة تحضير المركب (Mn_2N) يواجه الكيميائيون صعوبات عديدة لتجنب الحصول على المركب (Mn_4N) وعلى اوكسيد المنغنيز (MnO). والمركب الاخير يتكون بسهولة لتقارب قيمة قطر ذرة الاوكسجين وقطر ذرة النتروجين. لذا وان انطلق الكيميائي من مواد اولية تؤكد له وجود ذرتين منغنيز (Mn) مقابل كل ذرة نتروجين فانه من الصعب تجنب الحصول على المركبين الآنفي الذكر بشكل كميات قليلة.

وبالرغم من ضآلة هذه الكميات فانها تساهم في حيود الاشعة السينية مدخلة بذلك بعض الخطأ في القياسات ان لم ينتبه الكيميائي لذلك.

ولقد قلنا في الفصل الماضي ان لكل مركب بصمته بمعنى ان لكل مركب صورة حيود خاصة به. فعند وجود مركب (Mn_4N) مختلطا بالمركب (Mn_2N) تصبح صورة الحيود عبارة عن مجموع صورتي حيود: واحدة خاصة بالمركب (Mn_4N) وثانية خاصة بالمركب (Mn_2N).

ويوجد اليوم في اكثر مختبرات العالم العاملة في حقل حيود الاشعة السينية كتب وجداول وبطاقات تعطي معلومات كافية عن البنى البلورية لمختلف المركبات المعروفة، ووصفا دقيقا «للبصمات» الخاصة بكل بلور. ونذكر على سبيل المثال كتب ويكوف (Wyckoff) وبطاقات (A.S.T.M.).

وهكذا يستطيع الكيميائي عند مقابلة اي مخطط حيود بالمعلومات المعروفة عن الاجسام الصلبة ان يعزل مختلف البصمات المتواجدة في آن معا على صورة الحيود نفسها وان يعرف بالتالي المركب الذي تم تركيبه بعد التفاعلات الكيميائية التي حدثت.

ولقد اشرنا في الفصل الرابع الى عدم كمال البنية البلورية اي الى احتمال وجود شوائب وعيوب في هذه البنية تتجلّى في بعض الاحيان بنقص في بعض ذرات من طبيعة معينة او عدم وجودها في مكانها الطبيعي. واعطينا مثلا عن تغير البنية البلورية للمادة عند اختلاف قيمة هذا النقص في الذرات ($Mn_2N_{0,86}$ et $Mn_2N_{0,92}$). ولكن كيف يستطيع الكيميائي معرفة كمية النتروجين الموجود في البلور؟

لدى الكيميائيين طرق عديدة للتحليل الكيميائي تختلف باختلاف ميدان عملهم وطبيعة المادة المنوي تحليلها. ومن هذه الطرق ما يستعمل معطيات ذرية كالطريقة التي تستعمل التنشيط. ولن نتطرق الى هذه الوسائل بل سنشير الى مدى امكانية استعمال حيود الاشعة السينية في هذا المجال.

لقد رأينا ان شدة حز الحيود تعطي بحاصل ضرب كمية F بنفسها، وهذه الكمية تحتوي على معامل النشر الذري f الخاص بكل ذرة موجودة في المادة. فاذا كان هناك نقص في عدد ذرات النتروجين مثلا في المركب Mn_2N بالنسبة لعدد ذرات المنغنيز أصبح من الممكن القول انه هناك اقل من ذرة نتروجين مقابل كل ذرتي منغنيز.

ان هذا القول لا يعني مطلقا وجود جزء من ذرة في جزيء المركب. فالكل يعلم استحالة ذلك. فلنأخذ مثلا لتوضيح الصورة: لو اعتبرنا أن هناك تسع ذرات نتروجين مقابل كل عشرين ذرة منغنيز لأصبح من الممكن القول بوجود، مقابل كل ذرتين منغنيز، ٩ر٠ ذرة نتروجين وهذا ما يفسر ما قلناه آنفا.

وعند حساب شدة حز الحيود يصار الى ادخال (0,9f) عوضا عن f وبشكل عام اذا كان النقص (x) غير معروف يصار الى كتابة f(1−x) ومقابلة الشدة المحسوبة بالشدة المقاسة لاكثر من حز حيود لاستنتاج قيمة x.

وهذا ما تم القياس به عند دراسة المركب Mn_2N. فقد اجرينا تجارب حيود اشعة سينية (وحيود نترونات) على مركبين تم تحضيرهما بطريقتين مختلفتين، وتبين لنا ان المركب الاول كان $Mn_2M_{0,86}$ والمركب الثاني هو ($Mn_2N_{0,92}$). وتجدر الاشارة الى ان تجارب حيود النترونات (التي تستعمل نفس مبادىء حيود الاشعة السينية) اعطت نتائج افضل من حيود الاشعة السينية نظرا لصغر قيمة معامل النشر الذري f لذرة النتروجين في تجارب الاشعة السينية. ويمكن القول ان قيمة النتروجين قد حددت بدقة تقارب ١٪ (1%).

٣.٥ ـ دراسة الخلائط المعدنية:

يعمد بعض الكيميائيين والفيزيائيين (لاغراض تطبيقية وصناعية في

اكثر الاحيان) إلى خلط معدنين او اكثر والحصول على ما يسمى بالخلائط المعدنية. والمشاكل التي تواجههم تكمن في كثير من الاحيان في تحديد كمية كل معدن بالنسبة للمعادن الاخرى الموجودة في الخليط واماكن توجد الذرات. وهناك بالطبع مشاكل اخرى حريّة بالدراسة سنأتي على ذكر بعضها عند التطرق لاستعمال الاشعة السينية في ميدان الفيزياء.

ما يهمنا تبيانه هنا هو حل بعض مشاكل كيمياء الخلائط بواسطة الاشعة السينية. وسنركز عرضنا على خليط مؤلف من معدنين فقط وذلك طلبا للسهولة ومزيد من الوضوح. وتعميم هذا العرض على خليط مؤلف من اكثر من معدنين لا يخلق مصاعب جديدة بالنسبة للقارىء.

قبل كل شيء سنتطرق لمبدأ بسيط واساسي في علم الاحتمالات. فلو وضعنا في علبة كبيرة ٢٥ كلة (كريّة) حمراء و٧٥ كلة زرقاء متساوية الحجم وخلطناها فيما بينها ثم حاولنا دون ان ننظر، ان نأخذ كلة (كريّة) لكان الاحتمال في ان تكون حمراء يساوي ٢٥٪ اي ٢٥ ،٠ والاحتمال في ان تكون زرقاء يساوي ٧٥ ،٠ ، وهذا يعني ان مجموع الاحتمالات يساوي دائما واحداً.

سنطبق هذا المثل على الخلائط المعدنية حيث تختلط، مبدئيا، ذرات معدنين مختلفين. فاذا نظرنا الى عقدة (Noeud) في الوحدة البلورية (راجع الفصل الرابع) لكان احتمال ان نجد ذرة من المعدن الاول تساوي x مثلا واحتمال ان تكون من المعدن الثاني (1−x). فلو كان الخليط حديدا ونحاسا لكتب بالشكل التالي:

$$Fe_xCu_{(1-x)}$$

فيما يلي سنشير الى المعدن الاول بالحرف A وللمعدن الثاني بالحرف B فيكون الخليط (A_xB_{1-x}). وسنحاول عرض كيفية حساب الكمية x انطلاقا من حيود الاشعة السينية ومن اعتبار ذرات A و B مختلطة فيما بينها.

في هذه الحال يتم استعمال نفس المبادىء التي تحدثنا عنها في المقطع السابق. فاذا كان معامل النشر الذري الخاص بالمعدن A هو f_A ومعامل النشر الخاص بالمعدن B هو f_B أصبح معامل النشر الذري في اي عقدة من عقد الشبكة البلورية مساويا f .

$$f= xf_A+ (1-x)f_B$$

ويتم حساب شدة الاشعة المحيدة انطلاقا من قيمة f ومقابلتها بالشدة المقيسة مما يؤدي الى امكانية معرفة x .

واما في حال كون الذرات A و B غير مختلطة بحيث تحتل ذرات A عقدا معينة وذرات B عقدا تختلف عن تلك التي يحتلها A فانه يكون بالإمكان ايضا معرفة عقد A وعقد B . وسنأخذ مثلا على ذلك خليطاً يملك النظام المكعب المركز الذي يحوي نوعين وحيدين من العقد : العقد الموجودة على رؤوس المكعب والعقد الموجودة في مراكز المكعبات .

فلو افترضنا ان A موجودة في رأس المكعب اي في النقطة (0,0,0) والمعدن B في مركز المكعب اي في النقطة (1/2, 1/2, 1/2) لاصبحت المعادلة التي تعطي F تختلف عن تلك التي نحصل عليها لو كان A في (1/2, 1/2, 1/2) و B في (0,0,0) . وإن اختلاف قيمة F بين التركيبين يؤدي الى اختلاف القيمة المحسوبة لشدة الاشعة المحيدة في كلا الاعتبارين . يتم الاختيار بينهما بعد مقابلة القيمتين المحسوبتين والقيمة المقيسة .

٤.٥ - دراسة تجانس الاجسام الصلبة

إن تحضير خليط معين يستدعي المراقبة الدائمة والعمل المتواصل للحصول على تجانس في كل اقسامه . فتحضير خليط من النحاس والذهب بنسبة ٥٠٪ ذهباً و٥٠٪ نحاساً يستوجب وجود النسبة نفسها في اي قسم او جزء صغير من اجزاء الخليط . ولكن عوامل كثيرة ، كالثقل النوعي

وأبعاد الذرات ، تجعل الوصول الى مثل هذا التجانس صعبا بعض الشيء .

وقد لا تؤدي التحاليل الكيميائية العادية لمعرفة ما اذا كان الخليط متجانسا ام لا ، وذلك لانه من غير الممكن تحليل اقسام متناهية الصغر لمعرفة ما اذا كانت تحتوي على ٤٥٪ ذهباً مثلا عوضا عن ٥٠٪ . ولكن الاشعة السينية يمكنها ان « ترى » كل العيِّنة المنتقاة من الخليط وان تجمع المعلومات عن مختلف الاقسام المرئية من اجل اعطائها فيما بعد من خلال الحزمة المحيدة .

كيف يتم ذلك؟

لقد قلنا في الفصل السابق ان قياس الزوايا θ يؤدي ، انطلاقا من قانون براغ الى حساب المسافات الشبكية d . وهذا يعني ان تغير المسافة d يؤدي الى تغير قيمة الزوايا θ والى تغير اماكن حزوز الحيود الموجودة في اي مخطط حيود . والجسم غير المتجانس عبارة عن عدة اجسام . وصورة الحيود عبارة عن عدة صور مطبوعة على نفس الورقة . ويمكن للدارس ، بشيء من الخبرة ، التفريق بين الصورة الواحدة والصور العديدة المجتمعة على الورقة الواحدة . وهذا التفريق يؤدي الى معرفة ما اذا كان الجسم متجانسا ام لا .

ومن المعلوم ان المركبين $NaCl$ و KCl يملكان نفس البنية البلورية اي النظام المكعب ذا الاوجه المركزة ، ويختلفان فقط في قيمة ضلع المكعب : ٥،٦٣ انغشتروم بالنسبة للاول و ٦،٢٩ انغشتروم للثاني . فلو اخذنا عيِّنة مؤلفة من $NaCl$ و KCl لحصلنا على صورة تحوي حزوز الحيود العائدة للاول ، وتلك العائدة للثاني .

واما اذا حضرنا مركبا جديداً ($Na_xK_{1-x}Cl$) تختلط فيه ذرات الصوديوم والبوتاسيوم واجرينا تجربة حيود الاشعة السينية لحصلنا على صورة مشابهة لتلك التي تحصل عليها لو كان المركب هو $NaCl$ فقط او KCl فقط . ولكنها تختلف عنها بقيمة الزوايا θ اي بالمسافات الشبكية d .

وانه لمن الواضح ان تكون المسافة d بين مسطحين [(211) مثلا] متجاورين في الوحدة البلورية العائدة للمركب NaCl والمسافة بين نفس المسطحين في KCl مختلفتين، وذلك لاختلاف قيمة ضلع المكعب. وهذا يعني ان اختلاف قيمة المسافات d يعبّر عن اختلاف قيمة ضلع المكعب بين مركب وآخر.

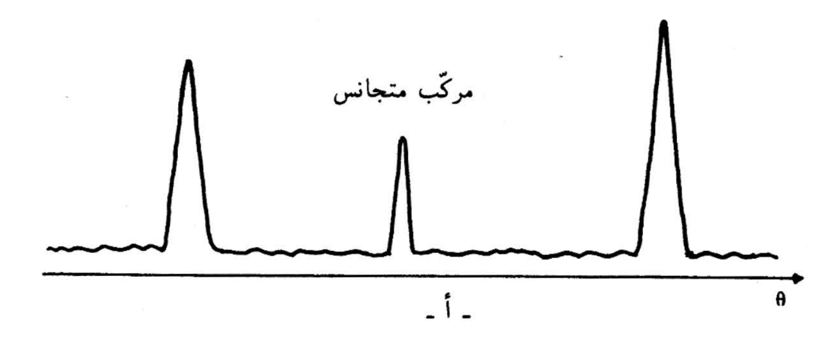
ولكن قد يكون الاختلاف زهيدا بين المسافات d. وعندئذ يكون الاختلاف ضئيلا ايضا بين الزوايا θ وبالتالي بين اماكن حزوز الحيود. وهذا يؤدي، عوضا عن الحصول على حزين منفضلين ومتجاورين، الى الحصول على حز حيود عريض نسبيا.

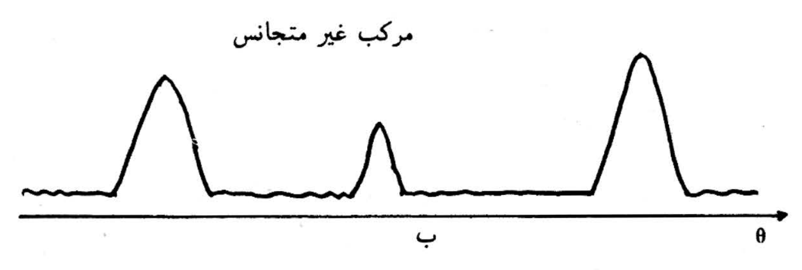
وكمثل على ذلك، اجرينا التجربة على الخلائط $Cr_{1-x}V_xN$ التي تملك نفس التركيب البلوري الخاص بالمركب NaCl. ولقد دلّت التجارب بواسطة الاشعة السينية على ان هذه المركبات غير متجانسة بالمعنى الدقيق للكلمة بالرغم من تأكيد الطرق الكلاسيكية المستعملة من قبل الكيميائيين بأن المركبات متجانسة.

وتجدر الاشارة الى اننا عمدنا خلال هذه التجارب الى خفض حرارة المركبات للتأكّد من النتيجة التي ذكرناها اعلاه.

ويعمد حاليا اكثر الكيميائيين العاملين في حقل الكيمياء المعدنية إلى استعمال حيود الاشعة السينية من اجل معرفة نوع المركبات التي تم الحصول عليها، وبالتالي معرفة ما ادت اليه التفاعلات الكيميائية التي حدثت. وتتم عادة هذه الدراسة بالطرق الفوتوغرافية او تلك التي تستعمل اجهزة الكترونية وعدادات. وتعطي النتائج بوقت قصير نسبيا: من ساعة الى بضع ساعات.

في الصورة رقم (٥ ـ ١) اوردنا صورة حيود عائدة لمركب متجانس (الصورة أ) وصورة حيود عائدة لنفس المركب عندما لا يكون متجانسا (الصورة ب). ولقد أدى عدم التجانس في المركب الى زيادة في عرض





صورة رقم ٥ ـ ١

حزوز الحيود ونقص في ارتفاعها.

٥.٥ ـ قياس درجة تأيين الذرة في المادة الصلبة

ان ما يميز الجسم الصلب عن الغاز والسائل هو قوة الارتباط بين الذرات المكونة للجسم الصلب. وطبيعة هذا الرباط تختلف من جسم الى آخر، ولكنها في جميع الحالات ذات طابع كهرسكوني. من بين هذه الروابط يمكن ذكر ما يلي:

- رابط فان درفالز ـ لندن (Van der waals – London) ونجده غالبا في بلورات الغازات النادرة او الخاملة كالنيون (Ne) الأرغون (Ar). ويتميز هذا الرابط بعدم وجود كهيربات مشتركة بين ذرتين متجاورتين أو اكثر.

- رابط تساهمي وهو ينشأ عندما تضع كل ذرة الكترونات مشتركة بينها وبين الذرات التي ترتبط بها لتكوّن جزيئاً. ونجد هذا الرابط في جزيئات الكربون والجرمانيوم والسيليسيوم وغيرها.
- الرابط الايوني وينشأ عندما تعطي ذرّة معينة الكترونا او اكثر للذرة التي ترتبط بها. والذرة التي تخسر الالكترون تصبح مشحونة بالكهرباء الموجبة اي أنها تصبح ايونا موجبا والذرّة التي تربح الالكترون تصبح ايونا سالبا. وقوة الجذب الكهرسكوني او الكولومبي بين الايونات الموجبة والايونات السالبة هي في اساس تكوين الجسم الصلب او البلوريات الايونية. وكمثل على هذه البلوريات يمكن ذكر ملح الطعام NaCl الذي اوردنا بنيته البلورية في الفصل السابق.

وهناك بالطبع انواع اخرى من الروابط لن نتوسع في وصفها. فكل ما اردنا قوله هو ان بعض هذه الروابط تستتبع تغيرا في عدد الالكترونات في كل ذرة او ايون. ومن المهم جدا سواء بالنسبة للكيميائي او الفيزيائي ان يعرف كيف تتوزع الالكترونات في البلور: هل هي مجتمعة في مختلف الذرات او الايونات الموجودة في البلور أم أن هناك الكترونات حرة كما هو الحال في المعادن؟

ان حيود الاشعة السينية يقدم بعض المعلومات حول درجة تأيين الذرات داخل البلور. وكما في الفصل السابق، فان معامل النشر الذري يتصل اتصالا وثيقا بالعدد الذري اي بعدد الالكترونات الموجودة في الذرة. فاذا تغير هذا العدد تغير معامل النشر الذري وتغيرت بالتالي شدة الاشعة السينية المحيدة في الاتجاهات θ التي تكلمنا عنها سابقا.

ان قياس شدة حز الحيود التي نحصل عليها بواسطة مادة معينة موضوعة للدرس وتلك التي نحصل عليها بواسطة مادة معروفة يمكّننا من معرفة معامل النشر الذري، وبالتالي معرفة درجة تأيين الذرات في

الجزيئات المكونة للجسم الصلب.

وتجدر الاشارة الى ان الاشعة السينية لا تصل حتى نواة الذرة التي تلتقيها، بل تتعامل فقط مع الالكترونات الموجودة في البلور لتنتشر فيما بعد في كل الاتجاهات وحسب قانون براغ. ان قياس شدة الاشعة السينية المحيدة في كل الاتجاهات يعطي « خريطة » لتوزع الالكترونات في البلور، ويحدد اماكن تواجد الالكترونات بشكل كثيف، اي اماكن الذرات او الأيونات.

٦.٥ - دراسة هندسة الجزيئات

اشرنا في مقدمة الفصل للدور المهم الذي لعبه الجزيء في كيمياء الغازات والسوائل وقلنا بأن التركيب البلوري حاز على اهتمام كبير من قبل الكيميائيين العاملين في حقل الاجسام الصلبة. ولكن هذا لا يعني وجود قطيعة بين الجزيء وبين التركيب البلوري. ويبقى في غاية الاهمية معرفة هندسة الجزيء وكيف تتصل الذرات فيما بينها. ويرتدي الموضوع اهميته القصوى عندما يتكون الجزيء من اكثر من ذرة (الماء مثلا).

لذا فكر الكيميائيون بأن أقصر طريق لمعرفة هذه الهندسة هي دراسة التركيب البلوري للمادة المكوَّنة من هذه الجزيئات واستنتاج شكل الجزيء من البلور نفسه. وتتم الدراسة بالطريقة التي شرحناها في الفصل الماضي ويصار فيما بعد الى تحليل الوحدة البلورية ومعرفة الروابط بين مختلف الذرات.

في ملح الطعام نجد ان كل ذرة كلور محاطة بست ذرات صوديوم. وهذا لا يعني مطلقا ان ملح الطعام هو Na_6Cl. ولتفسير هذا الامر سنأخذ ذرة كلور محددة، وهي الذرة الموجودة في النقطة (1/2, 1/2, 1/2) اي في مركز المكعب (انظر الصورة رقم ٤ - ٧) وذرات الصوديوم القريبة منها هي تلك الموجودة في مراكز الاوجه الستة للمكعب.

وعنـد حساب عـدد الـذرات في الوحـدة البلوريـة يجـب الاسترشاد بالقوانين التالية :

- الذرة الموجودة داخل الوحدة البلورية تحسب ذرة كاملة.
- الذرة الموجودة على وجه من اوجه الوحدة البلورية تحسب نصف ذرة لانها موجودة في وحدتين بلوريتين تملكان هذا الوجه في آن معا.
- الذرة الموجودة على ضلع تحسب ربع ذرة لانها مشتركة بين اربع وحدات بلورية.
- الذرة الموجودة في زاوية او رأس الوحدة البلورية تحسب (١/٨) ثمن ذرة لانها مشتركة بين ثماني وحدات بلورية.

بالنسبة لملح الطعام فإن عدد ذرات الكلور هو :

١ + (١٢ × ١/٤) = ٤

وعدد ذرات الصوديوم هو :

(٦ × ١/٢) + (٨ × ١/٨) = ٤

وهذا يعني انه مقابل كل ذرة صوديوم يوجد ذرة كلور ، وهذا ما يتماشى مع الصيغة الكيميائية لملح الطعام : NaCl .

وهناك ناحية اخرى نود الاشارة اليها ولو بسرعة وهي تتعلق بقياس أبعاد (dimensions) الذرات والايونات في البلور. فقد عمد الباحثون الى استنتاج هذه الأبعاد من قياس المسافات بين مختلف الذرات الموجودة في الوحدة البلورية. وقد تبيّن من هذه الدراسات انه لا يمكن جمع شعاع ذرة الى شعاع ذرة ثانية للحصول على المسافة بينهما ، اذ ان عوامل عديدة تساهم في تحديد هذه المسافة. من هذه العوامل يمكن ذكر :

- عدد الذرات المحيطة بذرة معينة
- طبيعة الرباط بين ذرتين متجاورتين

ولذا يتوجب ادخال تأثيرات هذه العوامل في اي معادلة تهدف لاعطاء

المسافة بين ذرتين او أيونين بالنسبة لشعاعيهما.

٧.٥ - التحليل الكيميائي بواسطة طيف الاشعة السينية الصادرة عن المادة:

رأينا في الفصلين الاول والثالث ان طول موجة الاشعة السينية الصادرة عن مادة معينة او التي تمتصها هذه المادة انما هي خاصة بالعناصر الكيميائية المؤلفة للمادة. وهذا يعني امكانية استعمال هذه النتائج في ميادين التحليل الكيميائي الكمي او النوعي. ويقدم قانون موزلي (Moseley) في هذا المجال خدمة هائلة خاصة في اكتشاف عناصر جديدة في خليط او مزيج لانه من الممكن، وبكثير من الدقة، معرفة طول موجة الاشعة السينية الخاصة بكل عنصر (راجع الفصل الاول).

ويتم هذا التحليل بالطرق التالية:

أ - يصنع من المادة المراد تحليلها مصعدا لأنبوب الاشعة السينية ثم يصار الى قياس اطياف الاشعة السينية (K,L ou M) من اجل معرفة العنصر الكيميائي الذي اصدرها. كما يمكن الاستعاضة عن انبوب الاشعة السينية باستعمال اشعة بتا (الكترونات) الصادرة عن نظير مشع عوضا عن الكهيربات المنبعثة من المهبط (اشعةمهبطية) او من شريط حار مجاور للمهبط في انبوب الاشعة السينية.

ب - يوضع جزء من المادة المراد تحليلها داخل انبوب الاشعة السينية بعد اخذ الاحتياطات اللازمة من اجل عدم وصول اشعة مهبطية اليه. وتتلقى المادة حزمة الاشعة السينية الصادرة من المصعد فتمتصها ثم تصدر بدورها، بطريقة الفلورة، اشعة سينية خاصة بها يعمد الكيميائي لقياس طول موجتها من اجل التعرف لطبيعة العنصر الموجود فيها.

ج - تتم هذه العملية كما في المقطع ب، ولكن عوضا عن وضع المادة داخل

الانبوب ، فانها توضع خارجه مما يسهل بالطبع عملية التحليل . وثمن هذه السهولة يدفعه الكيميائي بنقصان شدة حزمة الاشعة السينية والزيادة في الوقت الذي تتطلبه التجربة . ولقد اوجد العاملون في هذه الحقول بعض الحلول لهذه الصعوبة ومنها صنع انابيب اشعة سينية قادرة على اصدار اشعة سينية كبيرة الشدة . ويتم قياس الاشعة التي تصدرها المادة المراد تحليلها بواسطة عداد جايجر .

والى جانب هذه الطرق الثلاث يوجد طرق اخرى تعتمد على نفس المبادىء النظرية ولكنها تختلف فيما بينها بطريقة تحريض المادة المراد تحليلها وطريقة قياس الاشعة السينية الصادرة عن المادة .

وتعطي هذه الطرق في التحليل الكيميائي نتائج اكثر دقة من تلك التي تعطيها الطرق التي تستعمل الحيود ، خاصة بالنسبة للمواد صغيرة العدد الذري نسبيا ، اي المواد الصغيرة معامل النشر الذري f . فالطرق التي تستعمل قياس الاشعة السينية الصادرة عن المادة قادرة على اكتشاف عناصر لا تتعدى كتلتها جزئين من عشرة ملايين جزء من الغرام .

ثم انه من الممكن استعمال المادة مهما كان شكلها ومهما كانت نوعية تركيبها الكيميائي ، فالفلورة لا تحدث اي تلف او تغيير في تكوين المادة موضوع الدراسة . وهذا ما يجعل طريقة القياس مستعملة في تحليل المعادن الثمينة والجوهرات .

ومع ذلك تبقى هناك صعوبات جمة تقلل من امكانية الاستعمال الدائم لهذه الطرق في التحليل الكيميائي . فطول الموجة الخاص بالعناصر ذات العدد الذري الصغير ، يعد كبيرا نسبيا ، وهذا ما يحصر استعمالها في تحليل العناصر ذات العدد الذري الذي يساوي او يزيد عن ٢٠ .

وتتجلى هذه الصعوبات ، مضافة الى غيرها ، في ميدان التحليل الكمي ، اي عندما يراد معرفة وزن عنصر معين في المادة . واما في ميدان التحليل النوعي فتفقد هذه الصعوبات كثيراً من اهميتها . فالتحليل

النوعي يهدف لمعرفة ما اذا كان عنصر معين موجودا في المادة ام لا دون البحث عن نسبة وزنه بالنسبة للوزن الاجمالي .

ان اهمية طرق التحليل بواسطة الفلورة تظهر عند تحليل جسم غير متجانس لانه من الممكن تحليل اجزاء بسيطة من المادة حتى ان غينيه (Guinier) الفرنسي استطاع في العام ١٩٥٣ ان يصنع جهازا قادرا على تحليل المادة نقطة نقطة ومعرفة ما اذا كان الجسم متجانسا ام لا .

٥.٨ - التحليل الكيميائي بواسطة الامتصاص

رأينا في الفصل الثالث ان العناصر تتباين فيما بينها بقدرتها على الامتصاص ، وهذا التباين يجعل من الممكن البحث عن هذه العناصر بواسطة قياس قدرتها على الامتصاص . وبكلام آخر ، يبدو من الممكن القيام بتحليل كيميائي انطلاقا من قياس الامتصاص . فمنذ السنوات ١٩٢٠ بدأ العلماء باستعمال هذه الطريقة للبحث عن بعض العناصر وخاصة قياس كمية الرصاص الموجود في البنزين . والجدير بالذكر ان دقة القياس كانت تصل حتى ١ من ١٤٠٠٠ . والطريقة تستعمل الفارق الكبير بين معامل الامتصاص في الكربون والهيدروجين وبين معامل الامتصاص الخاص بالرصاص .

ومن اجل المزيد من الدقة يستعمل الباحثون عنصرا معروفا بقدرته على الامتصاص من اجل مقابلة القياسات التي تجري عليه بالقياسات التي تجري على المادة المراد تحليلها . وقد تم الوصول لقوانين تربط كمية الأشعة السينية غير المتصة بكتلة المادة المتصة للاشعة السينية .

وتستعمل هذه الطريقة بالتحليل الكيميائي في الاجسام الصلبة ، السوائل والغازات . ويمكن ، على سبيل المثال ، ذكر العمليات التالية :

- دراسة المواد البلاستيكية وقياس كمية الكلور والفلور فيها .
- قياس كمية الكبريت في الزيت الخام والزيت المكرر المستعمل في

مختلف الآليات كمحرك السيارة او الطيارة الخ ...

- قياس كمية الرصاص في البنزين
- البحث عن الصيغة الكيميائية للمواد العضوية.
- قياس كمية المعادن الثقيلة في الزجاج
- تحليل الخلائط المعدنية، خاصة اذا كان الثقل النوعي للعنصر الدخيل اكبر بكثير من الثقل النوعي للمعدن الاساسي.
- قياس الثقل النوعي للغاز وراء طائرة تسير بسرعة تفوق سرعة الصوت. ولا يتم القياس بالطبع وراء طائرة حقيقية وانما يصار الى ايجاد نفس الشروط داخل مخبر تجري فيه القياسات.

٩.٥ - التأثيرات الكيميائية للاشعة السينية

لدراسة التأثيرات الكيميائية أهمية مثلثة الجوانب تتجلى فيما يلي:

أ - ميدان كيمياء الاشعاعات، وخاصة ما يتعلق بسرعة التفاعلات الكيميائية من جهة، وثبات (الروابط) الصلات الكيميائية.

ب - المعلومات التي تقدمها دراسة التحولات الكيميائية تفيد افادة عظيمة دارسي التأثيرات البيولوجية للاشعة السينية.

ج - ان معرفة التأثير الكيميائي للاشعة السينية على جسم معين يؤدي في بعض الحالات لاستعمال هذا الجسم من اجل قياس شدة الاشعة السينية او تحديد الجرعة المراد تسليطها على جسم او إنسان معين.

ولقد أشرنا في الفصول السابقة الى قدرة الاشعة السينية الكبيرة على اختراق المواد الصلبة والى العظم النسبي للطاقة التي يحملها الفوتون السيني. وهذا ما دفع الدارسين للاعتقاد بوجود تأثيرات كيميائية هامة وكثيرة. ولكن الواقع يدل على ان الحالات التي يحدث فيها تحول كيميائي هام قليلة العدد: فلقد دلّت بعض التجارب على ان بعض الاجسام التي تتحول تحت تأثير الاشعاعات فوق البنفسجية لا تظهر اي تغير تحت تأثير

الاشعة السينية.

من بين هذه التحولات الكيميائية يمكن أن نذكر على سبيل المثال:

أ - الظاهرة الفوتوغرافية

ب - تفكك بعض المواد العضوية

لقد برزت اهمية دراسة التأثيرات الكيميائية بعد القاء القنابل الذرية على اليابان في العام ١٩٤٥ أواخر الحرب العالمية الثانية بعد ظهور التأثيرات البيولوجية المميتة للاشعاعات الذرية. ومعرفة هذه التأثيرات هامة بالنسبة لكل انسان على وجه الارض. ومنذ ذلك الوقت بدأت بعض الحكومات بتوجيه الابحاث العلمية في هذا الاتجاه من اجل تزويد كل مواطن بجهاز صغير الحجم وسهل الاستعمال قادر على اعطاء المعلومات عن شدة الاشعاعات في مكان معيّن.

وتجدر الاشارة الى اختلاف التفاعلات الكيميائية التي تحدثها الاشعة العادية عن تلك التي تحدثها الاشعة السينية نظرا لكون الطاقة التي يحملها الفوتون السيني كبيرة نسبيا. فعند وصول الفوتون الى المادة تعمد هذه الى امتصاصه كما شرحنا ذلك في السابق. ويسبق امتصاص الفوتون إذن اي ظاهرة فيزيائية او كيميائية في المادة. وكما رأينا ان امتصاص طاقة الفوتون تؤدي في بعض الاحيان الى استخراج كهيرب (الكترون) من احدى الذرات اي الى تأيين هذه الذرة.

وتمتص الطاقة التي يحملها فوتون اشعة عادية دفعة واحدة مما يضع الجزيء في مستوى طاقة اعلى بينما تمتص طاقة فوتون الاشعة السينية (الكبيرة) تدريجيا. فاستعمال اشعة عادية احادية طول الموجة يؤدي الى ايجاد عدد كبير من الجزيئات في نفس مستوى الطاقة العالي، بينما يؤدي استعمال الاشعة السينية لايجاد عدة مستويات طاقة عالية نظرا لتفاوت كمية الطاقة الممتصة بين جزيء وجزيء.

ان وجود بعض الجزيئات المثارة يؤدي، في بعض الاحيان، لتفاعلات

كيميائية لا تحدث عادة بين جزيئات طبيعية غير مثارة . والاثارة لا تحدثها دائما حزمة الاشعة السينية المسلَّطة وانما الاشعاعات الثانوية التي تنبعث من المادة او الكهيربات المنطلقة من بعض الذرات .

والتفاعلات التي تحدث بين الجزيئات المثارة تكون بشكل تفاعلات متعاقبة ومتسلسلة كما يحدث مثلا في الكلوروفورم الذي يعطي حامض الكلوريدريك .

وتبقى التفاعلات التي تحدثها الأشعة السينية في الماء في غاية الاهمية نظرا للانعكاسات الكبيرة على فهم التأثيرات البيولوجية للاشعة السينية . فتسليط حزمة من الاشعة السينية على ماء يحتوي على غاز الاوكسيجين يؤدي للحصول على الماء المؤكسج . ومنذ اكتشاف هذه الخصائص بدأت الدراسات لتحديد ما اذا كانت التأثيرات البيولوجية للاشعة السينية ذات علاقة ، ولو ضئيلة ، بهذا النوع من الماء المؤكسج .

ويؤدي تسليط الاشعة السينية على محلول مادة عضوية ، إلى الحصول ، في كل الحالات ، على الهيدروجين ، وفي حال وجود جزيئات تحتوي على الكثير من الاوكسجين فانه يؤدي الى الحصول على غاز ثاني اوكسيد الكربون (CO_2) . وكمية الجزيئات المفككة تزيد بازدياد كمية المادة العضوية في الماء وهذا يعني وجود تفاعلات ثانوية اي تفاعلات لا تنتج مباشرة عن الاشعة السينية وانما عما ينتج بعد امتصاص الاشعة السينية (الكترونات ـ ايونات الخ . . .) ويمكن ذكر مثل حامض الفورميك . فهذا الحامض يتحلل الى هدروجين وثاني اوكسيد الكربون معا .

$$HCOOH = H_2 + CO_2$$

ولكن اذا ما قدر وجود الاوكسجين فلا يتم الحصول على هيدروجين وانما على ماء (H_2O) . وتجدر الاشارة الى ان الكحول والبولينا (Urée) والدكستروز (dextrose) تعطي الهيدروجين دائماً .

ان تفكك المواد العضوية وتحولها الى غازات مهما ضؤلت كميتها يجعل

من الممكن الحصول على مياه صافية جدا. فلقد تبين ان الماء المغلي الذي وصلت درجة حرارة بخاره الى ٩٠٠ درجة مئوية كان ما زال يحتوي على مواد عضوية. اما تعريض المياه للاشعة السينية كفيلٌ بالقضاء على كل مركب عضوي موجود في الماء. ولا ضرورة هنا لذكر الاهمية القصوى التي يعطيها العلم للقياسات التي يمكن اجراؤها على المياه الصافية.

٥.١٠ - دراسة البنية الجزيئية والبلورية للبلمر

تحت عنوان البلمر يمكن كتابة كتاب كامل نظرا لاهمية الموضوع في عصرنا هذا. فنحن نعيش عصر البلمر والنايلون وغيرها من المواد التي تستعمل لصناعة اللدائن المتعددة الاستعمال. فالكثير من ثياب الانسان وادوات منزله مصنوعة من هذه المواد التي حاول فيها الانسان ان يتبع مثل الطبيعة في خلق المطاط والبروتيين والخلايا الحية.

ولكن ما هي البلمر؟

تتألف البلمر من جزيئات عملاقة molécules géantes ou macromolécules يتألف كل واحد منها من مونومر (monomère) أو أكثر والمونومر مركب كيميائي عادي وبسيط ذو وزن جزيئي ضئيل faible) (masse molaire والعملية التي يتم فيها الحصول على البلمر اي البلمرة (Polymérisation) لا تنحصر في المركبات العضوية للكربون وانما تتعداها لبعض المركبات المعدنية.

وتركيب بلمر معين ليس بالضرورة نفس تركيب الجزيء او المونومر الذي كوّن البلمر. ومن الممكن ان يتألف البلمر من جزيئات مختلفة كما يحصل في صنع المواد التي يمكن ان تحل مكان الحرير الطبيعي.

ولمعرفة، ولو بشكل جزئي، تركيب بلمر معين وهندسة بنائه تم ايجاد طرق ووسائل تستخدم حيود الاشعة السينية. وهذه الطرق تشكل اداة مهمة وناجحة اعطت وستبقى تعطي نتائج تتعدى كل ما يمكن الحصول

عليه بالتحليل الكيميائي بالدراسة المجهرية او بالوسائل الاخرى التي تستعمل في مجال دراسة البلمر .

ومن بين البلمرات العضوية يمكن ذكر البوليتلين والبوليستر والبوليميد وغيرها من المواد التي تستعمل في الكثير من الالبسة والتجهيزات المنزلية . ولا بد من التذكير بأهمية تطور هذا العلم في تطور صناعة البتروكيميائيات .

ولقد تبين ان للكثير من الاجسام الصلبة المتبلورة بعض خصائص البلمر . من بين هذه الاجسام يمكن ذكر الماس والسيليسيوم والزجاج . ولقد رأينا اهمية حيود الاشعة السينية في معرفة التركيب البلوري للاجسام الصلبة . ولكن لا بد من الاشارة الى ان دراسة البلمر العضوية بالاشعة السينية قد تستدعي طرقا تختلف بعض الشيء عن تلك التي تستعمل في ميدان دراسة البلورات ، ولكن الاساس النظري للحيود يبقى نفسه .

الفصل السادس :
الاشعة السينية والفيزياء

١.٦ - مقدمة

لقد تم اكتشاف الاشعة السينية على يد رونتغن اثناء دراسة بعض الخصائص الفيزيائية للاشعة المهبطية. ومنذ ذلك اليوم بدأ فصل جديد في عالم الفيزياء هو فيزياء الأشعة السينية. ويكفي ان نذكر الجهود والتجارب التي بذلت من أجل التوصل لمعرفة طبيعة الاشعة السينية وبشكل خاص يكفي ان نذكر تجارب لاو (Laue) التي دلّت على موجية الاشعة السينية وعلى تناظر البنية البلورية للاجسام الصلبة. ولقد ارست هذه التجارب قواعد علم جديد هو علم البلوريات (راجع الفصل الرابع) الذي أدى خدمات جلّى في ميادين الكيمياء والفيزياء والبيولوجيا والجيولوجيا وغيرها.

ولن نتطرق في هذا الفصل لكل أوجه إستعمال الأشعة السينية في ميادين الفيزياء بل سنكتفي بدراسة أكثر هذه الأوجه استعمالا. لقد رأينا فيما سبق ان قياس طول موجة الاشعة السينية الخاصة الصادرة عن عنصر معدني معين يعطي معلومات دقيقة عن مختلف مستويات الطاقة في الذرة المستعملة. وهذه النتيجة تسمح باستعمال الاشعة السينية في ميدان الفيزياء الذرية.

وقد يصعب حاليا وجود مخبر يهتم بدراسة المادة الصلبة يخلو من جهاز

للاشعة السينية وتجهيزات لقياس الاشعة السينية المحيّدة. ولذا سنقصر عرضنا في هذا الفصل على بعض اوجه استعمال هذه الاشعة في ميدان فيزياء الأجسام الصلبة كدراسة التمدد الحراري ودراسة تغير الخصائص المغناطيسية والكهربائية والبلورية للاجسام الصلبة.

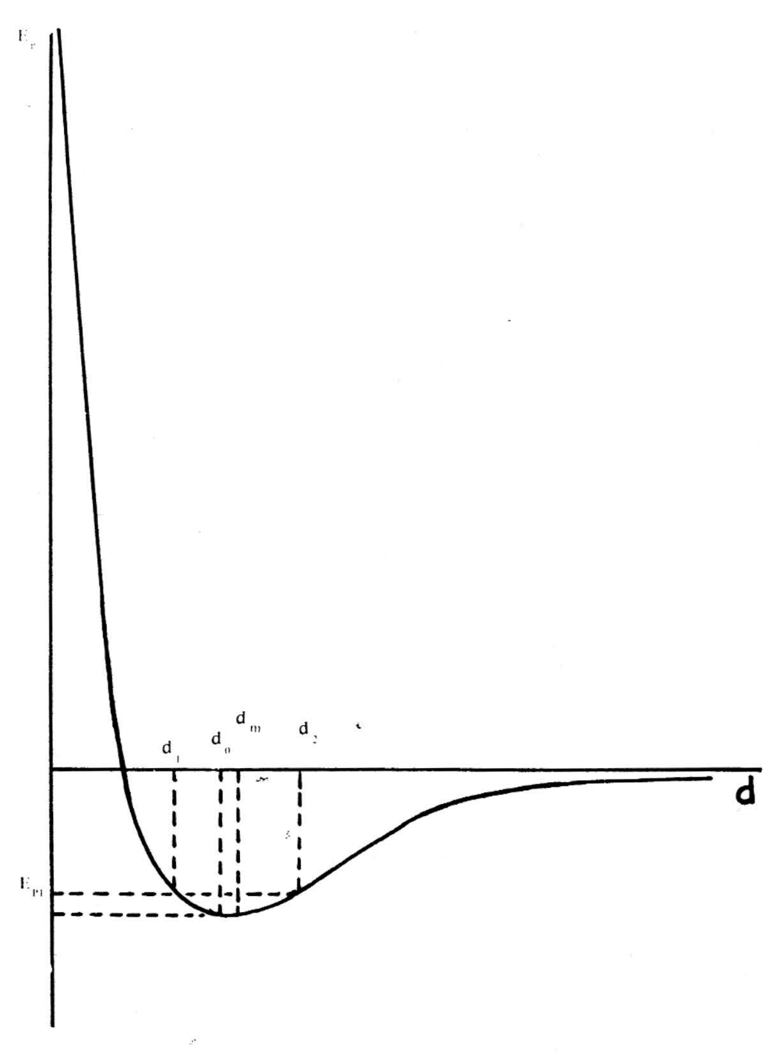
٢.٦ - دراسة التمدد الحراري

من المعروف ان ارتفاع درجة حرارة جسم ما يؤدي لزيادة حجمه وهذا ما يدعى بظاهرة التمدد الحراري. وهناك بالطبع بعض الحالات التي تناقض هذه الملاحظة كما هو الحال في الماء بالقرب من درجة الحرارة ٤ مئوية.

وازدياد الحجم مع ارتفاع درجة الحرارة يعود لازدياد في حجم الوحدة البلورية (في حال الاجسام الجامدة البلورية) وفي طول المسافة بين ذرتين معينتين. وهذا يعني ان فهم ظاهرة التمدد الحراري يستدعي معرفة هندسة تكوين المادة: هندسة الجزيء وهندسة الوحدة البلورية... الخ.

وسنحاول ان نعرض تبسيطا لهذه الظاهرة قبل التطرق لاستعمال الاشعة السينية في هذا الميدان. فمن المعروف ان الذرات، في مادة معينة، ليست مجمدة في مكانها وانما تتذبذب، وباتجاهات عديدة، حول بعض النقاط اي مواضع الاتزان وشدة الذبذبة تنخفض بانخفاض درجة الحرارة حتى الصفر المطلق (٢٧٣ درجة مئوية تحت الصفر).

في الصورة رقم (٦ ـ ١) نبين تغير طاقة الجهد أو طاقة الكمون مع تغير المسافة بين ذرتين متجاورتين. وتمر طاقة الكمون بنقطة دنيا عندما تكون المسافة بين الذرتين تساوي القيمة «d_0»، ولكنها ترتفع بارتفاع درجة الحرارة. وينقسم الرسم البياني لتغير هذه الطاقة مع تغير المسافة بين الذرتين الى قسمين: القسم المتعلّق بالمسافات التي تصغر قيمة d_0، والقسم المتعلق بتلك التي تكبرها. والقسمان غير متشابهين اذ ان الاول يدل على ان



صورة رقم ٦ - ١

طاقة الكمون

الطاقة تزيد حتى اللانهاية اذا ما نقصت المسافة بين الذرتين حتى الانعدام. واما القسم الثاني فيدل على ان طاقة الكمون تنقص حتى الانعدام اذا ما

زيدت المسافة بين الذرتين حتى اللانهاية.

وعند ارتفاع درجة الحرارة ترتفع طاقة الكمون من E_{po} حتى E_{P1} . ولكن هذه القيمة تناسب مسافتين بين الذرتين المتجاورتين d_1 و d_2 . وهذا يعني ان كل ذرة تتذبذب بحيث تبتعد عن جارتها حتى d_2 . وعند حساب المسافة بين الذرتين يجب اخذ متوسط المسافتين أي d_m . ولكن d_m تختلف عن d_0 مما يوجد ظاهرة التمدد الحراري الذي هو عنوان دراستنا.

كيف تتم الدراسة بواسطة الاشعة السينية؟

لقد رأينا في الفصل الرابع المتعلق بعلم البلوريات ان اتجاه الاشعة السينية المحيّدة والشديدة يحدد بواسطة قانون براغ:

$$2d \sin \theta = n \lambda$$

و d هي المسافة بين مسطّحين شبكيين متوازيين في البلور. ويتم حساب هذه المسافة بقياس الزاوية θ . ومعرفة المسافات بين عدد من المسطّحات يؤدي لمعرفة اطوال الوحدة البلورية وبالتالي الى معرفة حجم هذه الوحدة البلورية.

إن دراسة البلور بواسطة الاشعة السينية وتحت حرارة متغيّرة تعطي قيمة أبعاد الوحدة البلورية وحجمها تحت اي درجة حرارة. وهذا ما يسمح بدراسة تغير هذه الأبعاد وتغير الحجم بتغير درجة الحرارة: اي دراسة التمدد الحراري.

وتتم الدراسة عمليا بنفس الطريقة التي تعتمد في دراسة البنية البلورية لجسم معين اي بواسطة حيود الاشعة السينية. والفرق الوحيد يعود لطبيعة الاجهزة المستعملة لتغيير درجة الحرارة وقياسها.

وتجدر الاشارة الى ان دراسة التمدد الحراري فوق درجة الحرارة العادية تؤدي الى معلومات كثيرة الاهمية في ميادين عديدة من الفيزياء التطبيقية. ولكنها ترتدي اهمية خاصة تحت الدرجة العادية اي تحت

حرارة منخفضة. ويتم الحصول على هذه الحرارة المنخفضة عادة بواسطة غازات مسيّلة كالنيتروجين السائل (الذي تصل حرارته حتى ١٩٦ درجة مئوية تحت الصفر) والهيليوم (Helium) السائل الذي تصل درجة حرارته حتى ٢٦٩ درجة مئوية تحت الصفر. وهناك طرق اخرى لا مجال لذكرها هنا للوصول الى درجات حرارة اكثر انخفاضا تزيد على الصفر المطلق بقليل اي بجزء من مئة من الدرجة. (الصفر المطلق يعادل ٢٧٣ درجة تحت الصفر تقريبا).

ويمكن تحديد معامل التمدد الحراري بالمعادلة التالية:

$$\alpha = \frac{1}{v} \left(\frac{dv}{dT} \right)$$

حيث

V= الحجم

T= درجة الحرارة المطلقة

وتدل الدراسات النظرية والتجريبية على ان معامل التمدد الحراري ثابت وموجب (positif) تحت درجة حرارة عالية، ولكنه يصغر بانخفاض درجة الحرارة ليساوي صفرا عندما تلامس درجة الحرارة الصفر المطلق. ولكن هذه الملاحظة العامة تجد، في بعض الحالات ما يناقضها، اذ دلّت بعض التجارب على وجود معامل حرارة سالب. وبكلام آخر فان ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى تقلص حجم الجسم عوضا عن تمدده. ولكن هذه الحالات تبقى نادرة بحيث انها لا تلغي الملاحظة العامة التي ذكرنا اعلاه. وهذا التغير في طبيعة معامل التمدد الحراري يعود الى تغير طارىء في «طيف الفونونات» (جمع فونون) والفونون هو حبيبة الطاقة المرتبطة بذبذبة الذرات في البلور حول مواضع اتزانها.

ومن المعروف ان أي تغير في خاصة من الخصائص الفيزيائية لجسم معين

يؤدي في اكثر الأحيان لتغير في قيمة معامل التمدد الحراري. ومن المهم جدا معرفة هذه التغييرات وربطها فيما بينها لاستخراج نتيجة عامة يمكن ان تكون في غاية الأهمية في ميدان الاجسام الصلبة.

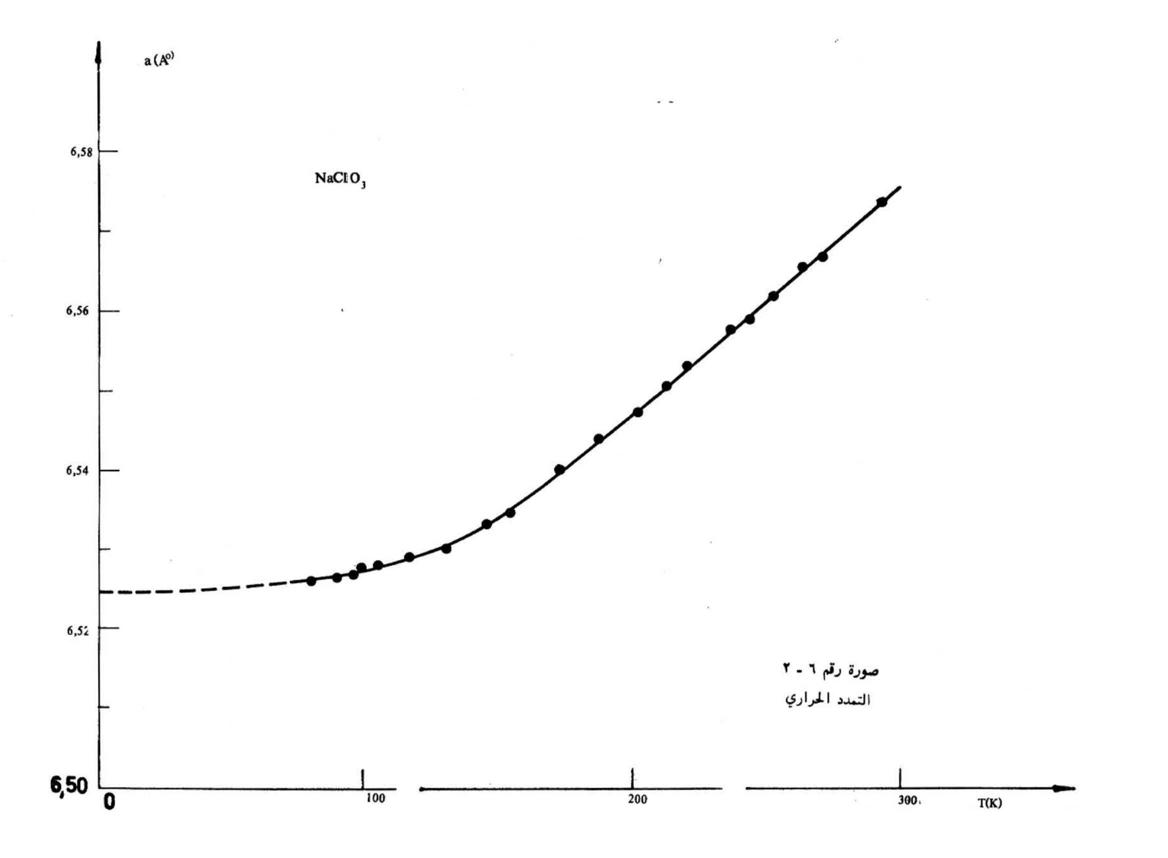
ويمكن القول من هذا المنطلق ان الاجسام التي يكون معامل التمدد الحراري فيها ثابتا وموجبا تحت حرارة مرتفعة ويتناقص تدريجيا بانخفاض درجة الحرارة، هي اجسام عادية لا يحدث انخفاض الحرارة اي تغيّر في خصائصها الفيزيائية.

اما إذا حدث للمعامل اي تغير مفاجيء فيمكن القول ان بعض خصائص الجسم الفيزيائية قد تغيرت. من هذه الخصائص يمكن ذكر الخصائص المغناطيسية والكهربائية.

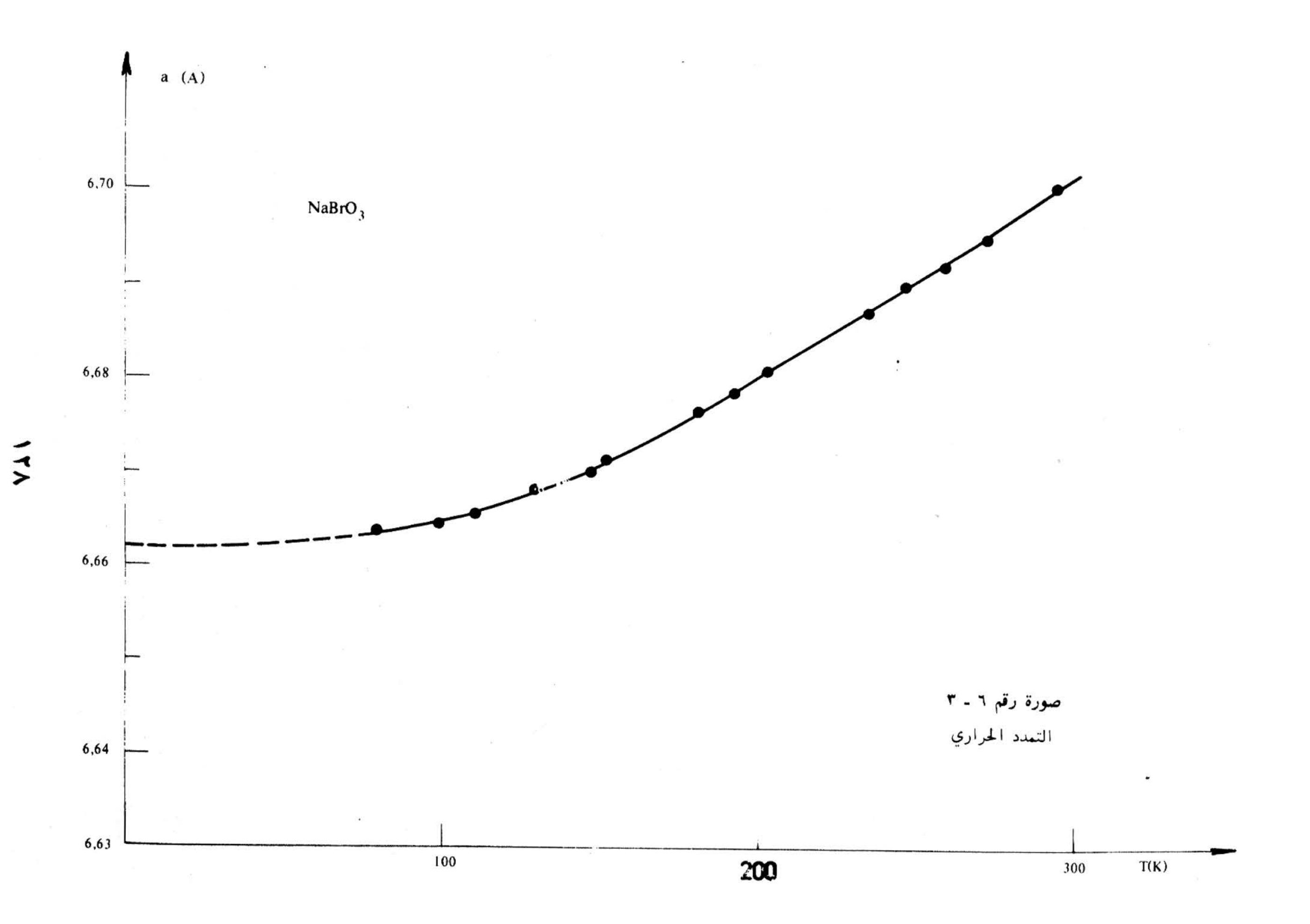
وكمثل على التغيّر الطبيعي لمعامل التمدد الحراري نورد الصورتين (٦ ـ ٢) و (٦ ـ ٣) حيث رسمنا تغير طول الوحدة البلورية مع تغير درجة الحرارة، وذلك للمركبين $NaClO_3$ و $NaBrO_3$. والتركيب البلوري لهذين المركبين مكعّب بحيث ان قياس ضلع المكعب تحت درجات حرارة مختلفة يكفي للحصول على رسم بياني يوضح ظاهرة التمدد الحراري. وقد تم الحصول على الرسم المذكور اعلاه بواسطة حيود الاشعة السينية تحت درجة حرارة منخفضة ومتغيرة بين درجةحرارة النيتروجين السائل (٧٧ درجة مطلقة اي ١٩٦ درجة مئوية تحت الصفر) ودرجة الحرارة العادية (اي ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر).

٦.٣ ـ درجات الانتقال من حالة فيزيائية الى حالة فيزيائية اخرى

لقد قلنا فيما سبق ان المادة موجودة بأشكال ثلاثة: الجامد والسائل والغاز. وهذه الاشكال هي حالات فيزيائية يمكن تحديدها ببعض المقادير كالضغط والحجم والحرارة والثقل النوعي الخ.. وانتقال الماء مثلا من



صورة رقم ٦ - ٢
التمدد الحراري



صورة رقم ٦ - ٣
التمدد الحراري

حالة السائل الى حالة الغاز (بخارالماء) هو انتقال من حالة فيزيائية الى حالة اخرى. ويتم هذا الانتقال تحت درجة حرارة معينة وثابتة اذا ما كان الضغط المسلّط على المادة ثابتا. فالماء يصبح بخارا عندما تبلغ درجة حرارته مائة درجة مئوية وذلك تحت الضغط الجوي العادي. وتغير قيمة الضغط يؤدي الى تغير درجة حرارة تبخر الماء.

وما يهمنا الاشارة اليه في هذا المجال هو ان انتقال الماء من الحالة السائلة الى حالة الغاز يصاحبه ازدياد واضح في الحجم. فحجم كمية محددة من السائل (الماء هنا) يبقى اصغر بكثير من حجم نفس كمية المادة بعد تحولها الى غاز (بخار). والانتقال الذي يتم مع تحول في الحجم يسمى انتقالا من الدرجة الاولى.

والانتقال الذي أشرنا اليه أعلاه مثل من امثلة عديدة عن الانتقال من حالة فيزيائية الى حالة فيزيائية اخرى. وسنتحدث عن بعض هذه الانتقالات فيما بعد.

ويمكن تصنيف الانتقالات حسب تقسيم اورده اهرنفست (Ehrenfest) منذ فترة طويلة. ويمكن ايجاز هذا التصنيف كما يلي:

أ - الانتقالات من الدرجة الاولى وهي تلك التي تحدث تغيرا مفاجئاً في الحجم.

ب - الانتقالات من الدرجة الثانية وهي تلك التي تبقى على الحجم نفسه محدثة تغيرا مفاجئا وجذريا في قيمة معامل التمدد الحراري.

ويتم التمييز بين هذين النوعين بتجارب عديدة منها ما يعتمد الطرق الحرارية والترمودينامية ومنها ما يعتمد قياس التمدد الحراري. وهذا ما يعطي للاشعة السينية دورا مهما في هذا المجال.

٤.٦ - الخصائص المغناطيسية للاجسام الصلبة

من المعروف ان مرور تيار كهربائي في سلك معدني يخلق، خارج السلك

حقلا مغناطيسيا تتغير شدته بتغير شدة التيار الكهربائي . ومرور التيار الكهربائي في السلك المعدني هو عبارة عن اختراق عدد كبير من الكهيربات لهذا السلك في الاتجاه المغاير لاتجاه التيار الكهربائي .

واذا ما كان السلك ملفوفا بشكل حلقة او حلقات لها نفس المحور (axe) اصبح من الممكن اعتبار هذه الحلقات كمغنط يحدد قطبه الشمالي وقطبه الجنوبي اتجاه مرور التيار الكهربائي داخل السلك المكون للحلقات . وكما هو الحال بالنسبة للمغنط يمكن تحديد عزم مغناطيسي هو حاصل ضرب الكتلة المغناطيسية الموجودة في القطب الشمالي بالمسافة بين القطبين ، كذلك يمكن تحديد الحلقات بواسطة عزم مغناطيسي يعتمد على شدة التيار الكهربائي وعلى الشكل الهندسي لمجموعة الحلقات وعددها .

بعد هذه المقدمة الصغيرة ، سنحاول التطرق لما يحدث داخل الذرة .

لقد قلنا سابقا بأن الذرة تتكون من نواة مشحونة بالكهرباء الموجبة ومن كهيربات (إلكترونات) تدور حول النواة . ودوران الكهيربات هذه يعني مرور تيار كهربائي في أسلاك وهمية ووجود حقل مغناطيسي . واذا اعتبرنا ، ان مسار الكهيرب هو الى حد ما ، دائري وجدنا وجه الشبه بين ما قلنا في البدء وبين ما يجري داخل الذرة .

وتكمن النتيجة النظرية لهذا التقريب في وجود عزم مغناطيسي يمكن حسابه بواسطة قواعد مضبوطة تسمى قواعد هوند (Hund) ، ويشار لهذا العزم عادة بالحرف L اي العزم المداري .

وبالاضافة للدوران حول النواة ، يدور الكهيرب حول نفسه . وبالرغم من صغر حجم الكهيرب ، يؤدي هذا الدوران حول نفسه لايجاد عزم مغناطيسي جديد لكل الكترون يدعى سبن (Spin) .

ويمكن ، بواسطة قواعد هوند المشار اليها اعلاه ، حساب العزم المغناطيسي الخاص بمجموعة الكهيربات ، ويشار اليه بالحرف S ، وحساب

العزم المغناطيسي الاجمالي لكل ذرة. وهذا العزم المغناطيسي هو قيمة متجهة تحدد بشدتها واتجاهها. (وكذلك هو حال L و S).

وفي الجسم الصلب البلوري اعداد هائلة من الذرات التي قد تكون متشابهة او مختلفة حسب طبيعة الجسم الصلب. واتجاه الاعزام (جمع عزم) المغناطيسية فيما بينها يحدد بعض الخصائص المغناطيسية لهذا الجسم. وبالرغم من عدم تخصيص هذا الفصل للدراسة المغناطيسية للاجسام الصلبة يمكن، وبالكثير من الايجاز، سرد بعض الحالات المغناطيسية في الاجسام الصلبة.

٦.٤.١ ـ الديامغنيطية أو المغناطيسية المغايرة

وتظهر هذه الحالة عند تسليط حقل مغناطيسي خارجي على الجسم فيوجد هذا الحقل عزما مغناطيسيا بالاتجاه المعاكس له. وليس للجسم الديامغنيطي عادة عزم مغناطيسي اجمالي في غياب الحقل المغناطيسي الخارجي. وهذه الحالة ليست ذات اهمية في دراستنا.

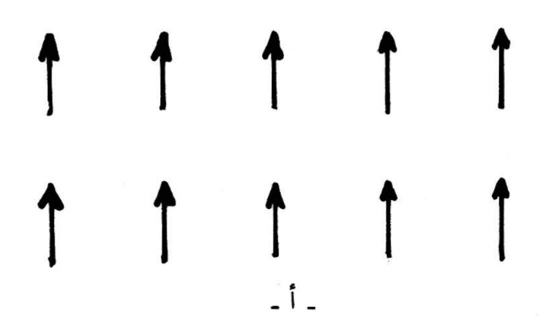
٦.٤.٢ ـ البارامغنيطية أو المغناطيسية المسايرة

يتم الحصول على هذه الحالة المغناطيسية عندما تكون الاعزام المغناطيسية الذرية مختلفة الاتجاهات بحيث يساوي مجموعها في اي لحظة صفرا. واختلاف الاتجاه بين عزم مغنيطي وآخر يعود للتهييج الحراري. والفرق بين هذه الحالة وتلك المذكورة في الفقرة (أ) هو ان عزم كل ذرة يساوي صفرا في الديامغنيطية، بينما هو مختلف عن الصفر في البارامغنيطية، ولكن مجموع الاعزام يساوي صفرا بفضل التحريض الحراري.

٦.٤.٣ ـ المغناطيسية الحديدية

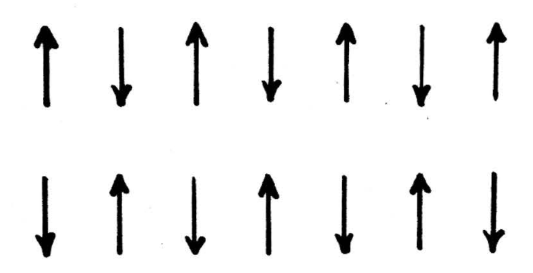
عند انخفاض درجة الحرارة يخف تأثير التحريض الحراري وتقصر المسافة بين عزم مغنيطي وآخر مما يزيد قوة الانجذاب المغنيطية بين عزمين

متجاورين . وقد يؤدي ضعف التحريض الحراري وازدياد الجذب المغنيطي الى وضعٍ تكون فيه مجموعة الاعزام متجهة باتجاه واحد . انظر الصورة (٦ ـ ٤أ) . ويتم هذا الانتقال من حالة البارامغنيطية الى حالة المغناطيسية الحديدية تحت درجة حرارة خاصة لكل مركّب وتسمى بدرجة حرارة كوري : (Curie:Tc) . وتجدر الاشارة الى عدم وجود هذه الحالة المغنيطية في كل الاجسام ، ولكن من الممكن ايجادها في بعض مركبات الحديد ومعادن مجموعة الحديد كالمنغنيز (Mn) والكروميوم (Cr) والتيتانيوم (Ti) . . .



ـ أ ـ

مغناطيسية حديدية



ـ ب ـ

مغناطيسية حديدية مضادة

صورة رقم ٦ ـ ٤

وكذلك مركبات عناصر الارض النادرة كالغادولينيوم (Gd) والنيوبيوم (Nb) والتربيوم: (Tb) والسماريوم (Sm) . . . الخ.

٦.٤.٤ ـ المغناطيسية الحديدية المضادة:

وكما في حال المغناطيسية الحديدية يؤدي إنخفاض درجة الحرارة الى اضعاف التحريض الحراري وازدياد قوة الجذب المغناطيسي بين الأعزام المغناطيسية بسبب تقلص المسافات بين الذرات. وهذا الجذب المغناطيسي يؤدي الى وجود نظام مغناطيسي في اتجاهات الاعزام. وفي الحالة التي نحن بصددها يأخذ كل عزم، كما في المغناطيسية الحديدية، اتجاها معينا لا يتغير ولكن بفارق وحيد وهام هو ان مجموع الاعزام يساوي صفراً.

والفرق بين البارامغنيطية والمغناطيسية الحديدية المضادة هو ان اتجاه كل عزم ثابت في الحالة الثانية ولكنه يتغير في الحالة الاولى وان كان مجموع الاعزام هو صفر في كلا الحالتين.

ويتم الحصول على النظام المغناطيسي الحديدي المضاد تحت درجة حرارة تدعى درجة حرارة نييل (Néel:T_N). وتصادف هذه الحالة في بعض مركبات المعادن التي ذكرناها عند التطرق للمغناطيسية الحديدية.

ونجد في الصورة (٦ ـ ٤ب) نوعا من النظام المغناطيسي الحديدي المضاد تصبح فيه جميع الاعزام موازية لخط مستقيم واحد. ويتخذ نصفها اتجاها معينا والنصف الآخر الاتجاه المعاكس مما يجعل قيمة المجموع تساوي صفرا.

٦.٥ ـ دراسة تأثير الخصائص المغناطيسية على الشبكة البلورية

ان كلاً من الحالتين: المغناطيسية الحديدية والمغناطيسية الحديدية المضادة تمثل حالة مغناطيسية منظمة بينما تمثل الديامغنيطية

والبارامغنيطية حالتين مغناطيسيتين غير منظّمتين. والانتقال من حالة البارامغنيطية الى حالة مغناطيسية منظمة يؤدي الى تغيّر في قيمة معامل التمدد الحراري وفي بعض الاحيان، في قيمة حجم الوحدة البلورية. وكذلك بالنسبة الى الانتقال من حالة مغناطيسية منظمة الى حالة اخرى منظمة ايضا.

وتجدر الاشارة الى ان الحالات المغناطيسية المنظمة لا تنحصر في حالة المغناطيس الحديدي وحالة المغناطيس الحديدي المضاد بل هناك حالات اخرى لا مجال لوصفها الآن كالمغناطيسية اللولبية. وهذه الحالة هي نوع من أنواع النظام المغناطيسي الحديدي المضاد.

وفي بعض المركبات يؤدي الانتقال الى حالة مغناطيسية منظمة الى تغير في التركيب البلوري. وبالرغم من كون هذه الظاهرة غير عامة فان لدراستها أهمية قصوى خاصة من اجل معرفة علاقة النظام البلوري بالنظام المغناطيسي السائد.

ولقد رأينا الدور الهام الذي تلعبه الاشعة السينية في دراسة البنية البلورية وقياس اطوال الوحدة البلورية وحجمها (راجع الفصل الرابع). فاجراء دراسة بواسطة حيود (او حيدان) الاشعة السينية عندما يكون الجسم بارامغنيطياً ودراسة ثانية عندما ينتقل الى حالة المغناطيس الحديدي أو الى حالة المغناطيس الحديدي المضاد يكفي لربط التغيّرات البلوريّة بالتغيرات المغناطيسية.

وهذا النوع من العمل يستدعي تغيير درجة حرارة المادة البلورية وامكانية قياس درجة الحرارة هذه. فبهذه الطريقة يمكن تحديد درجة الحرارة التي تتم تحتها التغيرات البلورية، اذ ان مقابلة درجة الحرارة هذه بتلك التي يتم تحتها تغير طبيعة النظام المغناطيسي (T_N ou T_C) تعطي معلومات مهمة وبنوع خاص حول معرفة ما اذا كان يتم التغير البلوري قبل المغناطيسي او العكس، او انهما يحصلان في آن معا.

وبشكل عام، يمكن القول ان انتقال الجسم الصلب من حالة البارامغنيطية الى حالة المغناطيس الحديدي لا يؤدي الى تغيير جذري في البنية البلورية. فجميع الاعزام متوازية ولها نفس الاتجاه مما يبقي الذرات متشابهة ومتكافئة. ولا يصاحب هذا النوع من الانتقال تغيير مفاجيء في أبعاد الوحدة البلورية او في حجمها، بل يحدث تغيرا في قيمة معامل التمدد الحراري. ولهذا صنّف هذا الانتقال انتقالا من الدرجة الثانية.

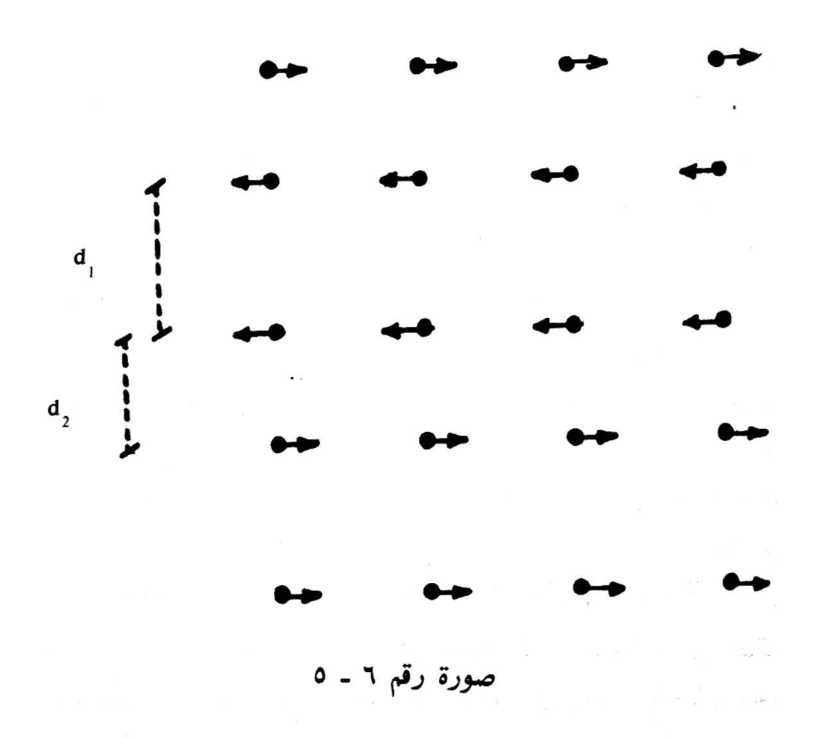
وقياس معامل التمدد الحراري قبل الانتقال الى حالة المغناطيس الحديدي وبعده يتم بواسطة حيود الاشعة السينية تحت درجة حرارة متغيرة. ولقد شرحنا كيفية اتمام ذلك في بداية هذا الفصل. ومعرفة درجة الحرارة التي يتم تحتها تغير معامل التمدد الحراري يؤدي الى معرفة درجة حرارة كورى (Tc). وهذا ما يحل مكان قياس التأثرية المغناطيسية التي تعطي معلومات عديدة من بينها قيمة درجة حرارة كوري (Tc).

واما انتقال الجسم الصلب من حالة البارامغنيطية الى حالة المغناطيسية الحديدية المضادة فيكون مصحوبا في بعض الاحيان بتغير معامل التمدد الحراري، وفي احيان اخرى بتغير في البنية البلورية.

ومن اجل فهم كيفية تغير البنية البلورية عند الانتقال الى نظام المغناطيسية الحديدية المضادة يمكن اعطاء الصورة التبسيطية التالية:

لنفترض وجود مسطحات شبكية منتمية لنفس العائلة (اي يشار اليها بنفس قرائن ميلر (hkl) بحيث تكون المسافة بين مسطحين متجاورين d). ولنفترض ان ذرات احد المسطحات تملك عند الانتقال للنظام المغناطيسي الحديدي المضاد، اعزاما مغناطيسية متوازية وبنفس الاتجاه وان ذرات المسطح المجاور تملك اعزاما مغناطيسية متوازية فيما بينها ايضا ولكنها معاكسة لاعزام المسطح الاول. انظر الصورة رقم (٦ ـ ٥).

ومن المعروف ان الاعزام المتوازية وذات الاتجاه الواحد تتنافر وان الأعزام المتعاكسة الاتجاه تتجاذب. وهذا يعني ان المسطّحين المذكورين



صورة رقم ٦ - ٥

اعلاه سيتجاذبان ، مما يجعل المسافة بينهما (d_2) اقصر من المسافة (d_1) التي تنشأ بين مسطحين متشابهين من حيث اتجاه الاعزام المغناطيسية.

ويقضي هذا التقارب بين بعض المسطحات والتنافر بين البعض الآخر على التناسق (التناظر) البلوري ويغير طبيعة البنية البلورية فينتقل الجسم الصلب من نظام المكعب مثلا الى نظام ذي تناسق اقل من تناسق النظام المكعب. ومن الطبيعي ان يتجلى ذلك بالنتائج التي يتم الحصول عليها بواسطة حيود الاشعة السينية.

وكمثل على ذلك سنعرض نتائج دراسة المركب (CrN) :

أ - تحت درجة الحرارة العادية (٢٠ درجة مئوية تقريبا) دلت تجارب حيود الاشعة السينية على انه يملك نظاماً بلوريا مكعبا ذا اوجه

مركزة. كما دلت القياسات المغناطيسية على انه بارامغنيطي.

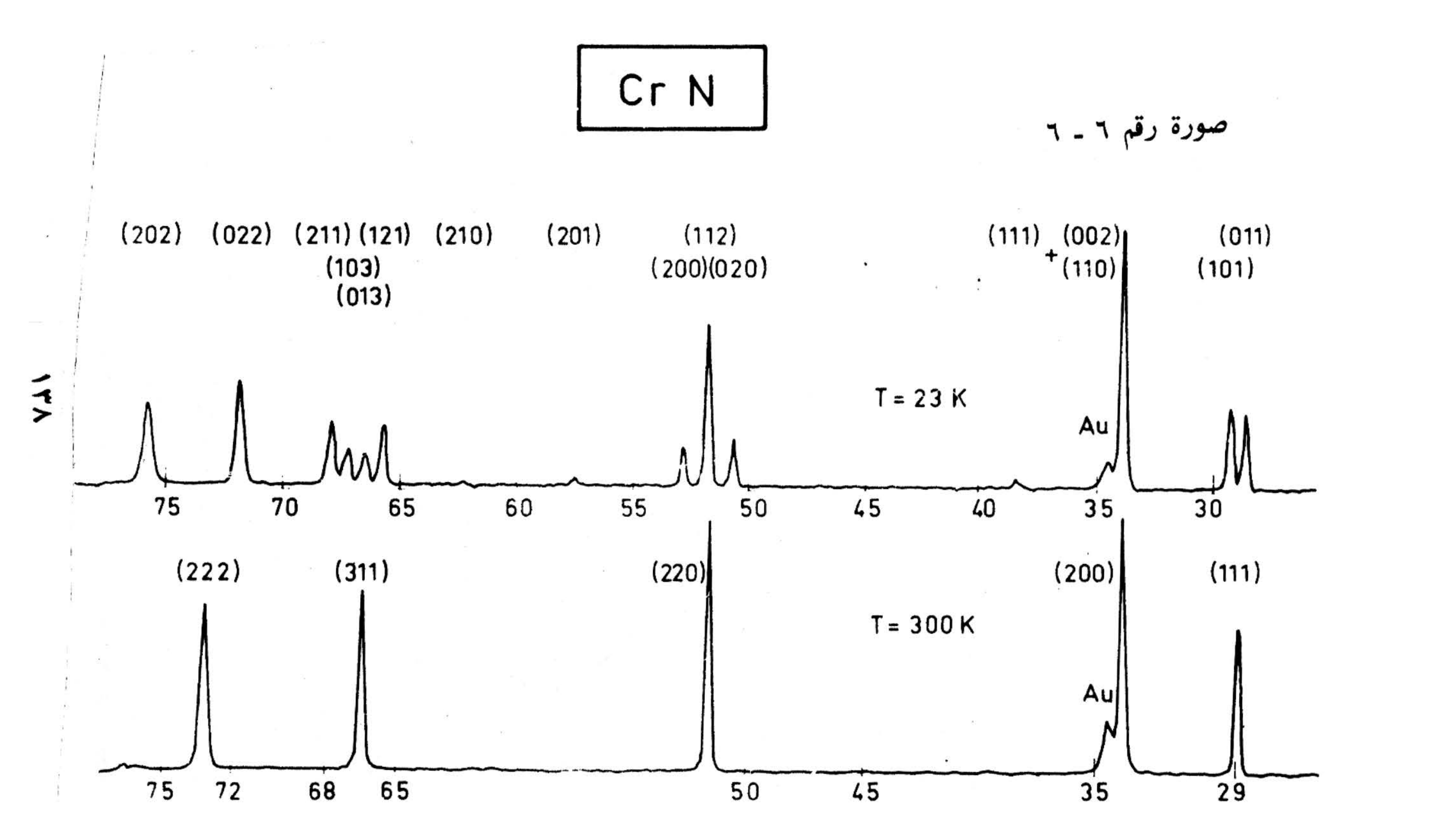
ب ـ انخفاض درجة الحرارة الى ما تحت الصفر يؤدي الى ايجاد نظام مغناطيسي بين الأعزام هو النظام المغناطيسي الحديدي المضاد، كما يؤدي الى تغيير جذري في البنية البلورية. وتتم دراسة النظام المغناطيسي بواسطة دراسة حيود النترونات. اما دراسة تغير البنية البلورية فتتم، كما قلنا، بواسطة حيود الاشعة السينية.

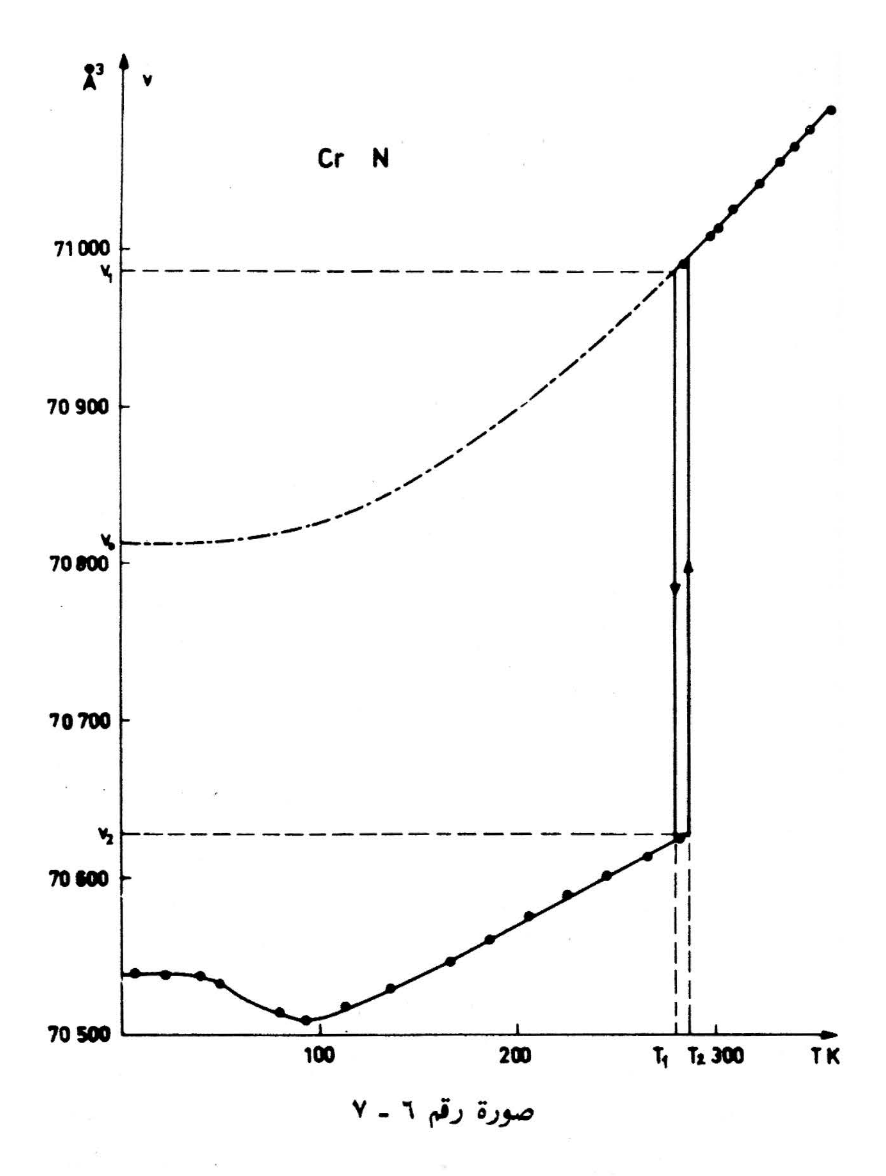
والصورة رقم (٦ ـ ٦) تعطي نتائج حيود الاشعة السينية تحت درجة ٢٠ مئوية تقريبا وتحت درجة ٢٥٠ تحت الصفر (23K). ومقارنة سريعة للنتيجتين تدل بوضوح على التغير في البنية البلورية. فقد حل مكان حز الحيود (111) الخاص بالمكعب حزّا الحيود (101) و (011) الخاصان بالنظام البلوري الجديد اي المستقيم المعين.

وغني عن التذكير ما يؤدي اليه هذا التغير في البنية البلورية من تغير في الخصائص الفيزيائية للجسم الصلب. ولقد دلت الدراسات النظرية التي تمت حول هذا المركب (CrN) على ان البنية البلورية الجديدة هي التي تجعل البنية المغناطيسية ثابتة. فعدم تساوي المسافات بين الذرات المتجاورة يؤدي الى فهم وثبات البنية المغناطيسية، اذ من الطبيعي ان تكون المسافة بين ذرتين تحملان عزمين مغناطيسيين متشابهي الاتجاه اكبر من المسافة بين ذرتين تحملان عزمين مغناطيسيين متعاكسي الاتجاه. والصورة رقم (٦ ـ ٧) تبين كيف يتغير حجم الوحدة البلورية بتغير درجة الحرارة. ويمكننا ملاحظة تغير مفاجيء في الحجم مما يعني وجود انتقال من الدرجة الاولى وذلك تحت درجة حرارة ٢٩٠ كلفن (290 K).

وتجدر الاشارة الى ان المغناطيس الحديدي المضاد لا يؤدي دائما الى تغيير جذري في التركيب البلوري، ولكنه يؤدي في معظم الاحيان الى تخفيض في التناظر البلوري. وحيود الاشعة السينية (مضافة الى حيود

صورة رقم ٦ ـ ٦


Cr N
(202) (022) (211) (121) (210) (201) (112) (111) (002) (011)
(103) (200)(020) + (110) (101)
(013)
T = 23 K
Au
75 70 65 60 55 50 45 40 35 30
(222) (311) (220) (200) (111)
T = 300 K
Au
75 72 68 65 50 45 35 29



Å3
V
Cr N
71 000
V1
70 900
V0
70 800
70 700
V2
70 600
70 500
100
200
T1
T2
300
T K

صورة رقم ٦ ـ ٧

النترونات) افضل طريقة لمعرفة درجة تأثير النظام المغناطيسي على النظام البلوري.

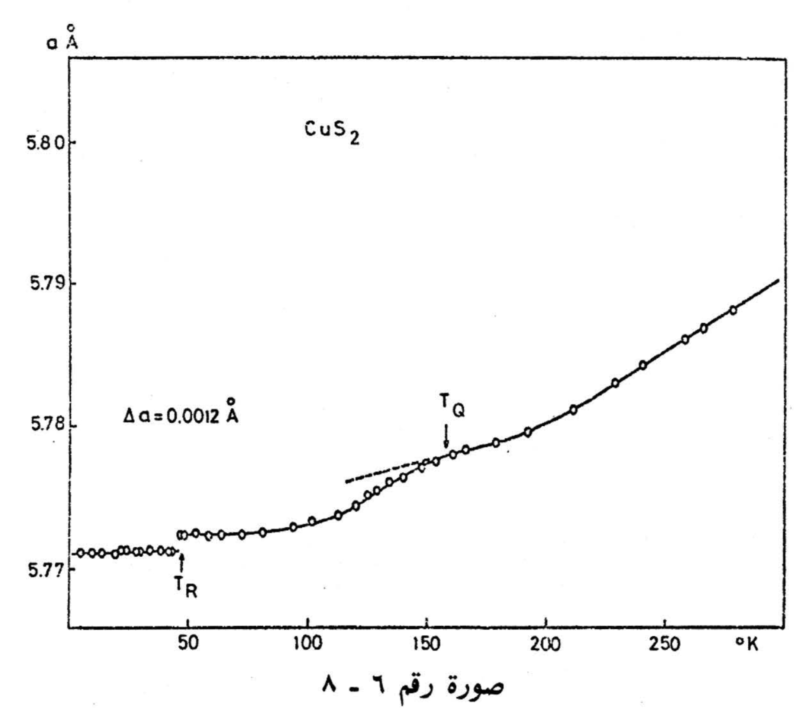
٦.٦ - تطبيقات اخرى لحيود الاشعة السينية في ميدان الفيزياء

دلت الدراسات على امكانية حصول تغيير في البنية البلورية او في قيمة أبعاد الوحدة البلورية دون ان يكون ذلك مرتبطا بوجود نظام مغناطيسي معين، اذ ان أي تغير في الخصائص الكهربائية او الالكترونية أو في طيف الفونون يؤدي الى تغيير في الخصائص الحرارية والميكانيكية للجسم الصلب. ويشكل خاص يمكن القول ان هذا التغير ينعكس على طريقة تمدد الجسم الصلب.

وكمثل على ما نقول يمكن ذكر المركّب (CuS_2) حيث دلّت التجارب بواسطة حيود الاشعة السينية تحت درجة حرارة متغيرة على وجود ما يلي:

- انتقال من الدرجة الثانية يمكن رؤيته بتغير معامل التمدد الحراري تحت درجة حرارة توازي ١٦٠ درجة مطلقة (حوالي ١١٠ درجات مئوية تحت الصفر). انظر الصورة رقم (٦ - ٨).
- انتقال من الدرجة الاولى تحت درجة حرارة تقارب الـ ٤٠ مطلقة (حوالي ٢٣٠ درجة مئوية تحت الصفر) حيث نرى على الصورة رقم (٦ - ٨) تغيرا مفاجئا لطول الوحدة البلورية. وهذا الانتقال لا يصطحب معه نظاما مغناطيسيا معينا.

ومن ناحية اخرى يمكن ان يؤدي انخفاض درجة الحرارة الى تغير في الخصائص الكهربائية لجسم معين كأن ينتقل من حالة المعدن الى حالة العازل الكهربائي (انتقال موت)(Mott) او من حالة المعدن الى حالة موصل متفوق. وكلا الانتقالين يؤدي الى تغير على صعيد الشبكة البلورية. فانتقال موت هو انتقال من الدرجة الاولى يؤدي الى تغيّر في قيمة طول



صورة رقم ٦ ـ ٨

الوحدة البلورية. واما الانتقال الثاني فيحصل تحت درجة حرارة منخفضة جدا ولا يؤدي الى تغير في قيمة أبعاد الوحدة البلورية، بل في قيمة معامل التمدد الحراري.

وفي كلا الحالين يمكن للفيزيائي ان يدرس طبيعة الانتقال ودرجته بواسطة حيود الاشعة السينية.

والى جانب هذه المواضيع يمكن ذكز دراسة تأثير العيوب والشوائب البلورية على الخصائص الفيزيائية للجسم. فبواسطة حيود الاشعة السينية يمكن تحديد طبيعتها وقيمتها (راجع الفصل الرابع) ومقابلتها بالخصائص الفيزيائية.

ولقد قلنا في الفصلين الأول والثالث ان قدرة الاشعة السينية على اختراق المادة تزداد كلما نقص طول موجتها. وهذا ما سمح للفيزيائيين

بدراسة الطبقة الخارجية (اي السطح الخارجي) للجسم وذلك باستعمال الاشعة السينية الطرية ، اي تلك التي تملك طول موجة كبير نسبيا . ولا مجال هنا لتعداد التطبيقات العديدة لهذه الطريقة ، وبشكل خاص دراسة الترسّبات بعد حصول تفاعلات كيميائية . ولقد تم انشاء مخابر مستقلة تعنى بدراسة الطبقات الرقيقة بواسطة حيود الاشعة السينية وحيود الالكترونات الى جانب تقنيات متطورة اخرى .

الفصْل السّابعُ :
التّأثيرات البيُولوُجيّة للأشعَّة السّينيَّة

سندرس في هذا الفصل تأثير الاشعة السينية على الخلايا الحية بدءا من البكتيريا وانتهاءً بجسم الانسان. كما سنحاول ان نوضح بعض هذه التأثيرات من اجل استخلاص بعض القواعد المهمة لحياة الانسان سواء من اجل الوقاية من الاشعة السينية ام من اجل مداواة بعض الاعضاء المريضة في جسم الانسان وبشكل خاص مداواة السرطان.

١.٧ - تأثير الاشعة السينية على البكتيريا

بعد اكتشاف رونتغن للاشعة السينية في تشرين الثاني (نوفمبر) ١٨٩٥، اهتم الباحثون بتأثير هذه الاشعة على البكتيريا وقدرتها على قتلها. ولقد اعتقد الباحثون عن حق بوجود هذه الاشعة في نور الشمس خاصة في الطيف فوق البنفسجي. ربما لأن لنور الشمس تأثيرا مميتا على البكتيريا يساعد في شفاء بعض الامراض كالسل مثلا، كان من الطبيعي ان يلتفت الباحثون نحو الاشعة السينية من أجل استخدامها في هذا المجال خاصة انه من الممكن تغيير شدة حزمة الاشعة المراد استعمالها.

وفي نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين بدأت التجارب تتوالى لمعرفة تأثير هذه الاشعة على البكتيريا، ولكنها كانت في اكثر الاحيان تعطي نتائج متناقضة. ولكن تقدم العلوم في هذا المجال وتكاثر

عدد الباحثين ساهما في حل كثير من التناقضات. فقد تم البرهان بشكل قاطع على ان الاشعة السينية تحدث، ربما بتأثيرات ثانوية وغير مباشرة، خللا في الخلايا الحية دون ان يعني ذلك قدرة الاشعة السينية على احداث نفس الخلل في مادة غير حية لها نفس التركيب المادي للخلية الحية.

ولقد دلت التجارب على ان عدد البكتيريا التي تموت تحت تأثير الاشعة السينية يزيد بازدياد كمية الاشعة السينية المسلطة. وهذه الزيادة يمكن التدليل عليها بواسطة تابع اسي او دالة اسية. والملاحظ ان التأثير المباشر للاشعة السينية هو جعل الخلايا عقيمة (stériles). ولكن يبقى التأثير النهائي هو الموت.

وتجدر الملاحظة بأن كمية الاشعة السينية المسلطة ليست العنصر الوحيد الذي يحدد مدى تأثير هذه الاشعة على الخلايا الحية. فالوقت الذي يتم خلاله تسليط كمية معينة يدخل ايضا كعنصر أساسي في تحديد عمق ومدى الخلل اللاحق بالخلية. وكلما زاد هذا الوقت خفت التأثيرات المميتة. والبكتيريا التي تتلقى جرعات خفيفة من الاشعة السينية تعيش اكثر من تلك التي تتلقى جرعة كبيرة دفعة واحدة.

والاشعة السينية المزودة بطاقة صغيرة (اي كبيرة طول الموجة) تحدث تغييرات داخل الخلايا الحية اكثر من الاشعة قصيرة طول الموجة او اشعة غمّا، وذلك لكون المادة تمتص الاشعة كبيرة طول الموجة اكثر من الاشعة صغيرة طول الموجة. ومن ناحية ثانية اثبتت التجارب ان الاشعة السينية تصيب الخلايا التي هي في حال الانقسام على نفسها. واما النوترونات فتصيب كل الخلايا. ولكن الجرح النهائي يبقى هو نفسه في كلا الحالين.

وبعد الحصول على هذه النتائج في ميدان البكتيريا عمد الباحثون لدراسة تأثير الاشعة السبنية على الفيروس (virus) خاصة وان المضادات الحيوية غير ذات فائدة في محاربة الفيروس. وبالرغم من النقاش الجاري

حول طبيعة الفيروس (فيما لو كان خلية حية او لا)، توصل الباحثون الى نتائج قيمة مفادها ان الاشعة السينية قادرة على اضعاف حيوية الفيروس وقتله.

٢.٧ - تأثير الاشعة السينية على المادة الوراثية

لقد اثبتت التجارب على البكتيريا أن الاثر الوحيد للاشعة السينية هو موت البكتيريا، واما التجارب التي جرت على بعض انواع الخميرة فأثبتت ان التوالد يتغير تحت تأثير كمية اشعة سينية اقل من تلك التي تؤدي إلى قتل البكتيريا وهذا ما دفع الباحثين لاستعمال الاشعة السينية في ميدان علم الوراثة.

وفي العام ١٩٠٣ اكتشف شونبرغ (Albers-Schönberg) قدرة الاشعة السينية على احداث عقم الخلايا الحية. ومنذ ذلك اليوم والعمل متواصل من اجل معرفة نتائج العقم المؤقت عند الحيوان أو الانسان.

وفي الصورة رقم (٧ - ١) نعطي جدولا يبين قيمة الجرعة الكافية لإحداث عقم دائم او مؤقت عند الانسان وبعض الحيوانات. ويوضح هذا الجدول ان الانسان هو اكثر الأحياء (ضعفا) وتأثرا بالاشعة السينية.

وفي العام ١٩٠٦ استطاع باردن (C.R.Barden) ان يلقح بويضة انثى العلجوم او الضفدع بواسطة حوين منوي تعرض للاشعة السينية. ولقد تبين ان البويضة بدأت تتطور بشكل غير طبيعي مما حدا بالباحث لأن يستنتج بأن الاشعة السينية تؤثر على مواد غير معروفة موجودة في الحوين المنوي. وتجدر الاشارة الى ان باردن كان يجهل مفهوم الصبغي أي الكروموزوم. واما اليوم فمن المعروف ان كل خلية في جسم اي حيوان أو أي نبتة متطورة تحتوي على نواة يوجد فيها كروموزومات تشبه عصياً صغيرة. ويتغيّر عدد هذه الكروموزومات من مخلوق الى آخر.

تأثير الاشعة السينية على
قدرة الانسان والحيوان على التكاثر

	جرعة الاشعة السينية بالرونتغن (١)	
	ذكر	انثى
عقم دائم		
الانسان	٥٠٠ - ٦٠٠	٣٠٠ - ٣٢٠
الفئران والجرذان	١٦٠٠ - ٣٠٠٠	٨٠٠ - ١٥٠٠
ذبابة الفواكه والخل	١٢٠٠٠	٥٠٠٠
عقم مؤقت (٢)		
الانسان	٢٥٠ (١٢)	١٧٠ (١٢ - ٣٦)
الفئران	٨٠٠(٤)	
الارنب		١٥٠٠-٢٠٠٠(٢٤)

(١) الرونتغن: وحدة قياس الجرعة

(٢) العدد المكتوب بين قوسين يشير الى مدة العقم بالاشهر.

صورة رقم ٧ - ١

وبالنسبة للجنس البشري يوجد ٢٤ كروموزوماً في كل مني ذكري و٢٤ كروموزوماً في بويضة الانثى. وبعد التلقيح يصبح في البويضة الملقحة ٢٤ زوجا من الكروموزومات نصفها يأتي من الاب والنصف الآخر يأتي من الأم. وخلال انقسام الخلية الجديدة (البويضة الملقحة) الى خلايا اخرى

تُزوَّد كل خلية في جسم المولود الجديد بـ ٤٨ كروموزوماً نصفها من الاب والنصف الآخر من الام .

ويمكن ايجاز تأثير الاشعة السينية على عملية انقسام الخلايا والتوالد بما يلي :

أ - تؤثر الاشعة على الخلايا تأثيرات شتى حسب حالة الخلايا هذه : تباطؤ عملية انقسام النواة ، وتجمع بعض الكروموزومات في بعض الخلايا التي تبدأ بالانقسام وذلك نتيجة تأثير الاشعة على حامض النيوكليك الموجود في الخلايا ، وشفاء الخلايا التي تعرضت للاشعة السينية قبل ان تبدأ عملية الانقسام بالرغم من تأخير حصول هذه العملية .

ب - حصول تغيير في الترتيب الداخلي وتركيب الكروموزوم . ويصبح هذا التغير وراثيا وذلك حسب قانون ماندل (Mendel) وحسب الخصائص العامة للكروموزوم نظراً لطريقة انقسام الخلية الملقحة التي أشرنا اليها اعلاه .

ج - تؤدي هذه التغيرات في الكروموزوم الى تغيرات ظاهرة كشكل الجسم وطوله ، واللون وشكل الاعضاء المعزولة ، وتأثير الضوء والجاذبية على الفرد ، ودرجة الحرارة التي يمكن تحملها . . . الخ . ففي حال النباتات كالقمح والشعير والارز ، تؤدي الاشعاعات الى وجود نبات بدون كلوروفيل اي نبات لا يستطيع ان يغذي نفسه بنفسه ، او على نبات لا يستطيع ساقه ان يحمل وزنه .

وقد دلت التجارب التي اجرتها شركة جنرال الكتريك على ان تعريض بصل الزنبق للاشعة السينية يؤدي للحصول على نوع من الزنبق لا يتغير لونه بسرعة ولا يذبل بنفس السرعة التي يذبل بها الزنبق الطبيعي . لقد ادت هنا الاشعة السينية الى تغيير في تطور النبتة ، ولكنه تغيير يفيد منه بائع الزهور .

ويتم حاليا استخراج البنيسلين من نوع من الفطر حصل عليه بواسطة الاشعة السينية. وهذا النوع يعطي من البنيسلين ضعف ما يعطي الفطر العادي الطبيعي. وقد افاد بالطبع صانعو الادوية من هذه النتيجة.

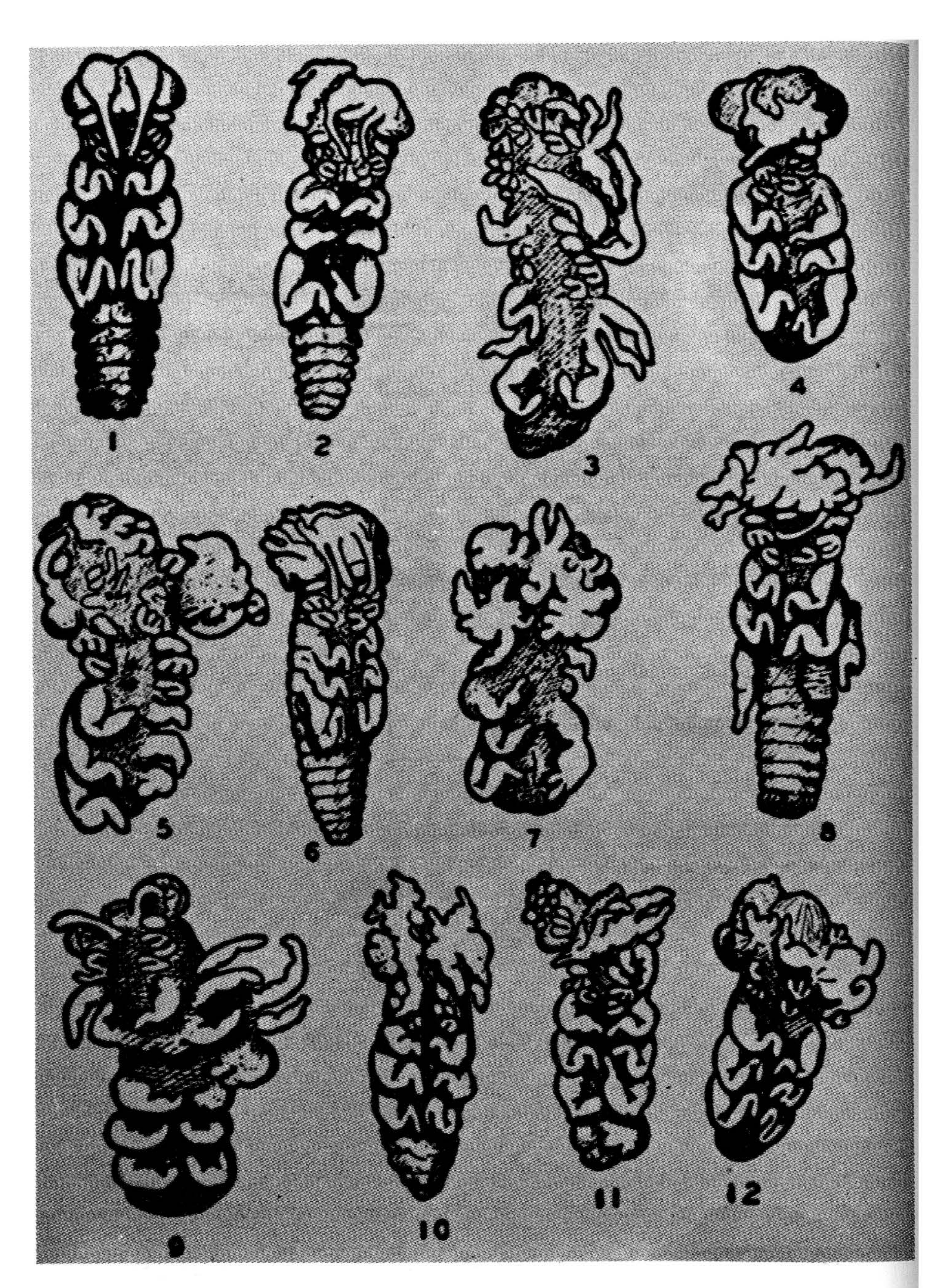
د - تؤدي الأشعة السينية لإحداث تغييرات في الحوين المنوي سواء تم تسليط هذه الاشعة على الحوين المنوي في خصية الذكر او بعد ولوجه الانثى. ففي العام ١٩٣٣ برهن سنل (Snel) أن تسليط ٤٠٠ رونتغن على ذكر الفأر ادى الى تغييرات في منيه يمكن تلمسها في عقم الجيل الاول.

وفي الصورة رقم ٧ - ٢ نماذج لجنين جرادة غير طبيعي تم الحصول عليها بعد تعريض بيض الجرادة للاشعة السينية.

وفي الصورة رقم ٧ - ٣ نرى تأثير تعرض ذكر الفأرة للاشعة السينية على الأجيال اللاحقة والشكل غير الطبيعي لاحد الاحفاد.

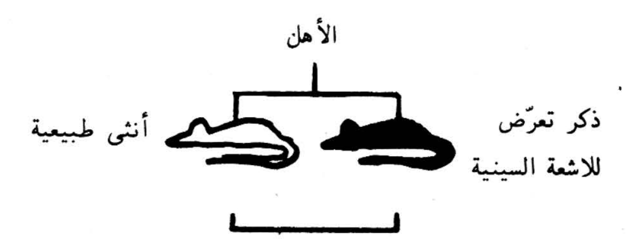
هـ - اثبتت بعض التجارب ان بعض الخلايا تنقسم على نفسها وتتطور، بعد تعرضها للاشعة السينية، بسرعة اكبر حتى الوصول الى حالة ورم خبيث او الى إبيضاض الدم (Leucémie) أي تكاثر عدد الكريات البيض بالنسبة لعدد الكريات الحمر مما يسبب سرطان الدم. وعلى سبيل المثال نذكر ان ٢٥ الى ٥٠ رونتغن تكفي لاحداث تورمات قد تكون خبيثة لدى ٧٠٪ من النساء. وتجدر الاشارة الى ان بعض السرطان المسبب بتعرض شديد للاشعة السينية لا يظهر الا بعد ١٨ الى ٢٠ سنة من تاريخ التعرض للاشعة.

والنصيحة الاساسية التي يمكن أن نقدّمها لكل عامل او باحث حديث في ميدان يستعمل الاشعة السينية، هي الا يبقى بشكل دائم داخل قاعة المختبر بالقرب من الجهاز، لان التعرض الدائم لهذه الاشعة، ولو بكميات ضئيلة، قد يؤدي الى نتائج سيئة. ولكن يتوجب عدم المبالغة في هذا المضمار حتى لا تتحول النصيحة الى رادع ومانع عن العمل في هذا الحقل.

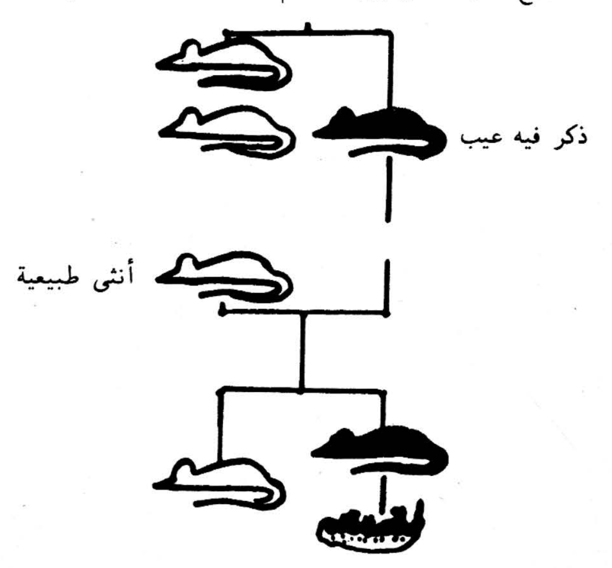


صورة رقم ٧ ـ ٢

الجنين رقم ١ طبيعي



جميع الأولاد طبيعيون ـ ثلثهم فيه عيب قد يظهر فيما بعد



ثلثا الأحفاد طبيعيون ، نصف هؤلاء فيه عيب .

الثلث فيه عيوب تكوين مهمه ولا يعيش

صورة رقم ٧ ـ ٣

ومن دواعي الاطمئنان ما تبذله الشركات المنتجة لاجهزة الاشعة السينية وانابيبها من جهد من اجل توفير حماية تامة لمستعمل الاشعة السينية . ويمكن القول حاليا ان كل الاجهزة العصرية ، بدون استثناء ، لا تسمح بأي

تسرب للاشعة السينية الى خارج الجهاز. وبالرغم من ذلك تبقى النصيحة التي قدّمناها اعلاه قيمة. وللتدليل على ذلك نورد ما حدث لاحدى الباحثات في احد المختبرات الفرنسية. فقد وضعت مكتبها في نفس غرفة الجهاز بغية توفير الوقت اذ انها تأخذ النتائج التجريبية من الجهاز لتحللها على مكتبها. ومع مرور الوقت، وبدون اي عارض مفاجيء، بدأت الفتاة تذبل وتشحب حتى اضطرت للدخول الى المستشفى... ولم تخرج منه حية فقد كانت مصابة بابيضاض الدم وماتت متأثرة به.

ولدى فحص الجهاز الذي كانت تعمل عليه تبين ان هناك بعض الفتحات المتناهية الصغر في رأس انبوب الاشعة السينية تتسرب منه الاشعة السينية... وتصل بين الحين والآخر الى الفتاة. هذا الى جانب الجو المؤين (ionisé)، بشكل جزئي ودائم، الذي يسيطر على الغرفة بسبب الاشعة السينية.

و - اثبت قانون لاكاساني (Lacassagne) ان تأثر الخلايا الحية بالاشعة السينية يزداد بازدياد سرعة انقسام الخلايا. وهكذا فالجنين اكثر تأثرا من المولود والاعضاء الشابة اكثر تأثرا من الاعضاء الكبيرة. ولهذا يمكن القول ان الخلية التي تتوالد بسرعة تحت تأثير الاشعة السينية (راجع المقطع هـ) اكثر حساسية وتأثرا بالاشعة السينية، بمعنى ان الاشعة السينية قادرة على القضاء على سرعة التكاثر في هذه الخلايا (المتورمة) كما سنرى فيا بعد.

ومن ناحية ثانية اثبتت التجارب التي اجريت على خلايا تعرضت لجرعة معينة من الاشعة السينية ان ازديادا طارئا في الحاجة للاوكسجين كان يؤدي الى موتها. وهذا يعني ان الجهد الجسدي يؤدي الى نفس النتيجة، اي موت الخلايا المعرضة للاشعة السينية. وقد اجريت تجارب على فئران تعرضت لـ ٦٠٠ رونتغن ودلت على ما يلي:

- الفئران التي تعرضت للاشعة السينية ولم تقم بأي جهد جسدي عاشت جميعها.

- ٥٠٪ من الفئران التي تعرضت للاشعة السينية وقامت بجهد جسدي كبير ماتت.

- الفئران التي لم تتعرض للاشعة السينية وقامت بمجهود جسدي كبير عاشت جميعها.

تأثير الاشعة السينية على العناصر الوراثية اخطر من تأثيرها على بقية عناصر الخلية وذلك لعدة اسباب يمكن ذكر بعضها:

- خسارة صبغي اوكروموزوم لا يمكن التعويض عنه في اغلب الاحيان.

- اي تغير في هذا الكروموزوم سينعكس على الخلايا وعلى الفرد نفسه وذلك يعود للدور المهم الذي تلعبه الكروموزومات في انتقال الصفات الانسانية بالوراثة وللطريقة التي يتم فيها انقسام الخلايا واقتسام الكروموزومات فيما بين الخلايا الجديدة.

ح - من الممكن احداث تغييرات وراثية تحت تأثير جرعة صغيرة. وهذا يعني انه لا يوجد عمليا جرعة مقبولة واخرى غير مقبولة. فقد دلّت التجارب على الحيوانات ان جرعة ١ ،٠ رونتغن يوميا (٣٠ رونتغن في السنة تقريبا) تقصر الحياة حوالي ثلاث سنوات. وهذا يعني ان مراقبة صارمة يجب ان تمارس من قبل الجسم الطبي على فحص الانسان بواسطة الفلورة (Fluroscopie) وعلى مداواة الجلد بهذه الاشعة. ويجب مضاعفة هذه المراقبة عند النساء الحوامل.

هذه هي بعض تأثيرات الاشعة السينية على الخلايا الحية وبالتالي بعض اسباب النظرة الحذرة التي يواجه بها عالمنا اليوم الاشعاعات. والمؤسف ان النتائج التي بحوزة الانسان اليوم لم تقتصر على التجارب التي اجريت على الحيوان. فالقنابل الذرية التي القيت على هيروشيما وعلى ناغازكي

والاشعاعات التي نشرتها برهنت كم هي رهيبة النتائج المباشرة وكم ستكون هائلة ومريعة النتائج على الذين عاشوا بعد القاء القنبلة الذرية وكانوا عرضة للاشعاعات. وما قلناه حول الاشعة السينية يمكن تكراره بالنسبة للاشعاعات النووية، وبالتالي فان تأثير هذه الاشعاعات لن يتوقف على جيل القنبلة بل على الاجيال اللاحقة ايضا.

٣.٧ - تأثير الاشعة السينية على الجنين

ان تأثير الاشعة السينية على الجنين يشبه تأثيرها على الكروموزوم. وفي هذا المجال تنجلي القدرة المذهلة للاشعة السينية على احداث خلل في تطور الجنين المتعرض لها.

وفي دراسة حول اثر الاشعة السينية على نمو الصوص، استعملت جرعات تتراوح بين ٤٠ و ٦٠٠ رونتغن على مجموعة من البيض يتراوح عمر الواحدة منها بين ١٩ و٢٤٣ ساعة. ويمكن ايجاز نتائج هذه الدراسة بما يلي:

- في ٤٥٪ من الحالات توقف نمو جنين الصوص مباشرة بعد تعرض البيضة للاشعة
- في ٢٤٪ من الحالات مات الجنين داخل قشرة البيض بعد فترة من تسليط الاشعة السينية.
- في ٩ر١١٪ من الحالات مات الجنين بعد ان ينمو خلال ١٥ يوما.
- ٩٪ من الصيصان الخارجة من البيض كانت قوائمها مشلولة
- ٦٪ من الصيصان لها قوائم واظفار مشوهة. والتشويه يتراوح بين تشويه الاصابع واختفاء احدى القائمتين او كلتيهما.
- ٤ر١٪ من الصيصان مشوهة الرأس.
- ١٪ من الصيصان مشوهة الاجنحة او المنقار او النخاع... الخ

ولقد اجريت تجارب مماثلة على الفئران وعلى حيوانات اخرى كانت

نتائجها مماثلة لما ذكرناه اعلاه مع بعض الاختلافات غير الجوهرية التي تنحصر في نوعية التشويه وفي ربط نوعية هذا التشويه ودرجته بعمر الجنين لحظة تعرضه للاشعة السينية. ولا يوجد اي سبب يمنعنا من القول بأن هذه النتائج تنطبق، من الناحية النوعية لا الكمية، على جنين الانسان.

والفترة الخطرة في حياة جنين الانسان هي تلك التي يكون فيها عمره بين اسبوعين و٦ اسابيع. وهي الفترة التي يمكن للأم ان تعتبر نفسها غير متأكدة من كونها حاملا. وتعرض الجنين للاشعة السينية بعد انقضاء الأسابيع الستة قد يؤدي الى نتائج اقل خطورة. وتجدر الاشارة الى ان التشويه هو ثمرة تعرض الجنين مباشرة للاشعة السينية وليس نتيجة لما قد تحدثه الاشعة في خلايا الام.

وتكفي جرعة صغيرة نسبيا، ٢٥ رونتغن مثلا، لاحداث تغيرات مهمة في الجنين اذا ما اعطيت في الفترة الخطرة التي اشرنا اليها اعلاه. لا بل يمكن القول بأن جرعة اقل، اي كتلك التي تعطى اثناء الفحص بالفلوره تحدث، في بعض الاحيان، بعض الخلل في نمو الجنين. وكل هذه النتائج توضح اهمية عدم تعرض الحامل للاشعاعات حتى ولو كان ذلك بهدف التشخيص الطبي.

٤.٧ - اثر الاشعة السينية على الخلايا الطبيعية

الظاهرة الاولى في حلقة تأثيرات الاشعة السينية على الخلايا الحية هي ظاهرة فيزيائية بحته. فالتقاء الفوتون السيني بكهيربات الذرات وجزيئات المواد الكيميائية الموجودة في الخلية يؤدي الى احدى الظاهرتين التاليتين:

- تحرير كهيرب من احدى الذرات التي تصبح ايونا (ion).
- امتصاص كهيرب لطاقة الفوتون السيني وانتقاله الى مستوى طاقة أعلى داخل الذرة نفسها التي تتحول الى ذرة محرضة.

وخصائص الايون والذرة المحرضة تختلف عن خصائص الذرات العادية

التي لم تتعرض للاشعة السينية. وهكذا فخصائص البروتيين تتغير بالضرورة ، وقد تتحول جزيئاته الى جزيئات مواد اخرى اكثر بساطة من جزيئات البروتيين. وهذا يعني وجود مواد غريبة عن الخلية الحية تؤدي الى تغير في شكل ووظيفة الخلية نفسها. وفي هذا المجال يمكن استخلاص الملاحظات التالية :

أ - بعد تعرض الخلايا للاشعة السينية تظهر التغيرات بعد مرحلة كمون ، أي بعد انقضاء فترة على هذا التعرض. ويمكن ان تكون هذه الفترة قصيرة جدا لو كان بامكاننا ان نعرف بدقة التغيرات الكيميائية والبيولوجية في المادة. ويمكن ان تكون طويلة اذا اعتبرنا ان التغيرات تنحصر في الموت او في حدوث خلل واضح للعيان كالتهاب الجلد مثلا. ويمكن ان نرد هذا الكمون الى ان التغيرات الكيميائية التي تحدثها الاشعة السينية في نواة الخلية تتراكم تدريجيا بحيث لا يظهر مفعولها الا بعد اكتمالها.

ب - قدرة الخلية على التنفس تتضاءل بعد تعرضها الطويل للاشعة السينية وذلك حسب رأي الكثيرين من الذين عملوا في هذا الميدان. فلقد عرّض شازلي (Chesley) حبوب القمح وبيض السمك لجرعات من الاشعة السينية غير كافية لايقاف النمو. وقام بقياس كمية الاوكسجين التي يستهلكها غرام واحد من الخلايا خلال وحدة زمنية معينة فتبين له ان هذه الكمية المستهلكة بعد مضي ٢٤ ساعة على تسليط الاشعة السينية تساوي الكمية نفسها التي تستهلك قبل التعرض للاشعة السينية. وهذا يعني ان القدرة على التنفس تتغير بعد تباطؤ عملية النمو وليس قبله. وقد ظهر من تجارب شازلي ان بعض الخلل في نمو بيض السمك ظهر قبل تغير القدرة على التنفس.

ج - سرعة انقسام الخلايا الطبيعية اقل من سرعة انقسام خلايا الاورام الخبيثة. وهذا يعني ان الاشعة السينية تقضي على خلايا الاورام

اكثر من قضائها على الخلايا الطبيعية ، وذلك للاسباب التي ذكرناها عند تعرضنا لاثر الاشعة السينية على الصبغيات ، اي الكروموزومات . وبكلام آخر يمكن القول ان الخلايا الطبيعية المحيطة بورم خبيث يمكن ان تتحمل جرعة من الاشعة السينية اكبر من تلك التي يمكن ان تتحملها خلية متورمة . وهذا ما يطرح امكانية معالجة الاورام الخبيثة بواسطة الاشعة السينية .

هـ - اثر الاشعة السينية على الخلايا لا يتغير بتغير طول الموجة بالرغم من الملاحظة التي تقول بأن الاشعة أحادية طول الموجة هي اكثر فتكا من الاشعة متعددة طول الموجة .

٥.٧ - اثر الاشعة السينية على انسجة جسم الانسان

تبعاً لتغير قيمة جرعة الاشعة السينية المسلطة ، يمكن تحديد اربع درجات في اصابة الجلد .

أ - الدرجة الاولى : لا يظهر اي التهاب على الجلد ، ثم يتساقط الشعر ، ثم يتغير لون الجلد . وتستمر هذه الحالة من اسبوعين الى اربعة اسابيع ثم تشفى شفاء تاماً .

ب - الدرجة الثانية : طفح جلدي معتدل ، وتمدد واضح في الاوعية الدموية ، واحساس بارتفاع درجة الحرارة في الجزء المصاب ، وتساقط الشعر مع تلون الجلد . وتستمر الاصابة من ستة اسابيع الى اثني عشر اسبوعا مع امكانية الشفاء واختفاء تغير لون الجلد .

ج - الدرجة الثالثة : طفح جلدي لونه بين الاحمر والازرق مع ظهور نفاطات تشبه نفاطات الحروق ، وتساقط الشعر ، وموت الغدد المفرزة للعرق ، وشعور بالالم . وتستمر الاصابة بين ثمانية أسابيع وستة عشر اسبوعا . ويتم الشفاء مع ترك آثار واضحة على الجلد دون ان تنبت شعرة واحدة . وهناك امكانية حدوث مضاعفات بعد

مرور سنوات عديدة على الاصابة.

د ـ الدرجة الرابعة: طفح ازرق يميل للاحمرار، وظهور نفاطات وما يشبه القرحة، والم رهيب. وهنالك شك في امكانية الشفاء. وفي كثير من الحالات تبدو عملية استئصال المنطقة المصابة الحل الوحيد... للمعالجة.

ومن البداهة ان نقول بوجود حالات من الاصابة يمكن ان تكون بين درجة واخرى.

واما بالنسبة للانسجة غير الجلدية فالنتائج تختلف من نسيج الى آخر وذلك نظرا لاختلاف حساسية الخلايا الحية المؤلفة لهذه الانسجة:

- الدم لا يتأثر كثيرا بالاشعة السينية ولكن قدرته على التخثر تتضاءل، ولكن التعرض الطويل، ولو بكميات ضئيلة، للاشعة السينية يؤدي الى مضاعفات خطيرة كفقر الدم مثلا...
- انسجة نخاع العظام حساسة جدا.
- الغدد التناسلية حساسة جدا ايضا: ٢٠٠ رونتغن تكفي للحصول على عقم مؤقت و٣٠٠ رونتغن تسبب عقما دائما. واقل من هذه الكمية تكفي لاحداث عقم المبيض.
- الكبد قليل الحساسية
- القصبة الهوائية قليلة الحساسية ايضا.
- الجدار الداخلي للامعاء يموت تحت تأثير جرعة شديدة.
- الجهاز العصبي والعمود الفقري والنخاع: تتحمل جرعات قوية ولا تظهر اي أعراض غير طبيعية.
- العين غير حساسة عدا القزحية
- العظام: قليلة الحساسية تحت تأثير جرعات متوسطة الشدة. واما عند الصغار الذين لم يكتمل نموهم طبعاً بعد فيمكن ان تؤدي الجرعات الى وقف النمو في العضو المعرّض للاشعة السينية مما يساهم

في ابقائه قصيرا بالنسبة لبقية اعضاء الجسم.

وقد قام الباحثون بتسليط جرعة كبيرة على كل جسم الانسان كانت نتيجتها احساس بدوار اسمي دوار الاشعة السينية يشبه دوار البحر. وقد قام هؤلاء الباحثون بصياغة النظريات العديدة من اجل تفسير هذا الشعور. والكثير من هذه النظريات يربط بين الدوار وبين حالة التسمم التي تصيب الجسم من جراء تخريب الخلايا الحية وتحوّل بعض موادها الى مواد اخرى.

وبعض هذه النظريات ايضا يعيد هذا الشعور بالدوار الى عوامل اخرى نذكر منها:

- نقص في كمية ملح الطعام اذ ان حقن محلول يحتوي على ٥٪ من الملح ادى الى القضاء على الشعور بالدوار.
- نقص في كمية الكولسترول
- زيادة كمية الكالسيوم ونقص كمية البوتاسيوم
- زيادة كمية النتروجين في الدم
- تكون الماء المؤكسج في ماء الجسم
- تغير كمية السكر في الدم
- تغير كمية البروتيين

ونظرة الى عدد هذه النظريات التي تحاول تفسير هذا الشعور بالدوار يعطي فكرة عن المضاعفات الكثيرة، والتي قد تكون خطيرة، التي تنشأ عن تعرض جسم الانسان للاشعة السينية. وتجدر الاشارة الى ان بعض الباحثين يعتقد ان الشعور بالغثيان والدوار يتم بعد تعرض منطقة البطن للاشعة السينية.

والسؤال الاساسي الذي طرحه العاملون في حقل تأثير الاشعة السينية على الانسجة كان ينحصر في معرفة ما اذا كانت الاشعة السينية توجِد في الجسم مواد جديدة تؤثر على بقية اجزاء الجسم. وكان الشعور بالدوار،

كما قلنا ، سببا وجيها من اسباب طرح هذا السؤال . ولكن يمكن القول في يومنا هذا ان تأثير الاشعة السينية على عضو معين يكون اكبر اذا ما تعرض الجسم كله للاشعة السينية عوض عن ان يتعرض العضو وحده لهذه الاشعة . وهذا ما يمكن ان يساعد في محاربة الاورام الخبيثة .

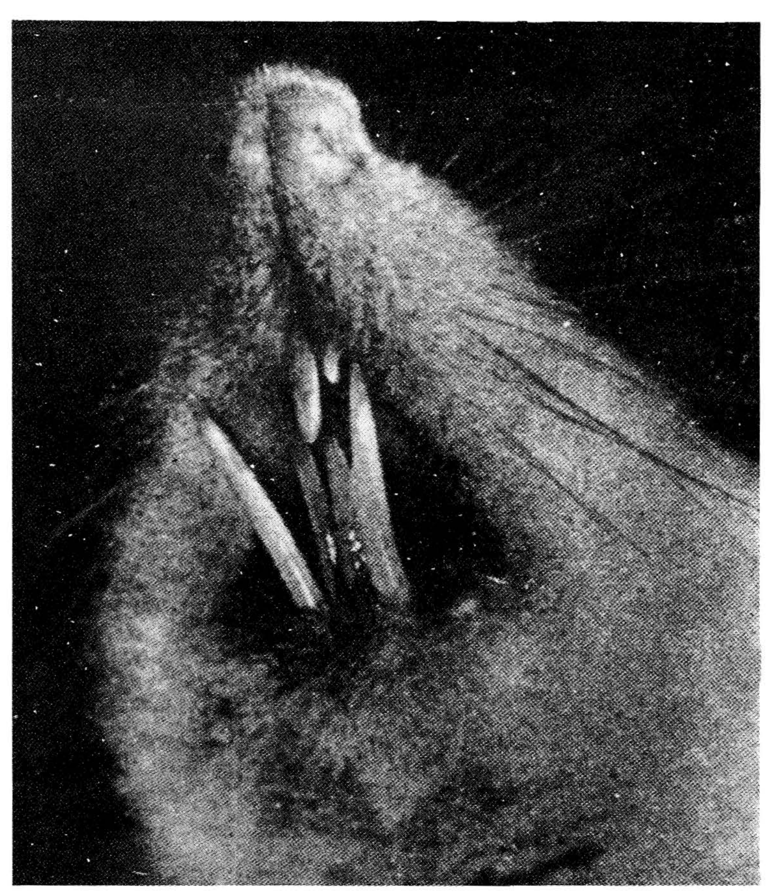
ولقد دلت التجارب على امكانية التخلص من ورم خبيث اذا ما سلط عليه جرعة سينية توازي عشرين الف رونتغن بينما تكفي ٣٢٠٠ رونتغن للتخلص من نفس الورم الخبيث تسلط على الخلايا الطبيعية المحيطة به .

كيف يتم تفسير ذلك؟

من المعروف ان خلايا الورم الخبيث تنقسم على ذاتها بسرعة اكبر من سرعة انقسام الخلايا الطبيعية . وهي تأخذ غذاءها عن طريق الخلايا الطبيعية المحيطة بها وربما على حسابها . والقضاء على هذه الخلايا الطبيعية يقطع « طريق الامدادات » عن خلايا الورم ويحرمها من الغذاء والاوكسجين فيستحيل عندئذ انقسامها و . . . تموت .

من ناحية ثانية ، ظهرت ، عبر سنوات عديدة ، نظريات تقول بأن للجرعة الصغيرة من الاشعة السينية تأثيرات ايجابية على جسم الانسان كزيادة مناعة الجسم ونموه . أما الاثر السيء فيعود للجرعات الكبيرة . وقد يكون هذا صحيحا اذ ان الاشعة السينية قد تزيد من نمو الخلية . ولكن هذه الزيادة ليست الا مرحلة انتقالية يعقبها انحطاط أو موت الخلية نفسها .

وقد دلت التجارب التي اجريت على جرذ تعرض لاشعة سينية شديدة على بروز نابين جديدين في الفك الاسفل الى جانب النابين الاساسيين . ولكن نفس التجارب دلت على ان نابي الفك الاعلى بقيا صغيرين نسبيا وقليلي القساوة وكأنهما مصنوعان من مادة غضروفية (انظر الصورة رقم (٧ - ٤) .



صورة رقم ٧ ـ ٤

وهذا ما يدعو لاخذ المزيد من الحذر ولحماية اسنان المرضى ، خاصة الاطفال منهم ، عند الاضطرار لاستعمال الاشعة السينية في تصوير او معالجة قسم من الوجه .

٧.٦ ـ المعالجة بالاشعة السينية

يمكن استعمال الاشعة السينية في معالجة الامراض اذا كانت هذه

المعالجة تتم بالحصول على الظواهر التالية:

أ - كبح نشاط الغدد والخلايا، وخاصة خلايا الغدد، والخلايا الشابة، وتلك التي تتهيأ للانقسام. وبكلام آخر كبح نشاط الغدد الشديدة التأثر بالاشعة السينية. وهذا ما يسمح على سبيل المثال بمعالجة بعض امراض الجلد التي يسببها نشاط كبير في الغدد.

ب - تخفيف حدة الالتهابات كالالتهابات الصدرية مثلا.

ج - شفاء الغنغرينة الغازية، وذلك لان الاشعة السينية تساعد في تكوين المياه المؤكسجة او بعض المواد التي تساهم في الشفاء.

د - معالجة الالتهابات الداخلية المختلفة. فقد مرت فترة من الزمن كانت تستعمل فيها الاشعة السينية لمعالجة كل الامراض التي يمكن تصورها: السحايا. وشلل الاطفال، والربو، والسعال الحاد، والذبحة اللوزية وكثرة افراز الانسولين، وابيضاض الدم.

و - قتل الاورام الخبيثة وتخريبها وقد بدأت تحل الاشعاعات النووية، مكان الاشعة السينية في هذا المجال.

وقد دلت دراسة عامة جرت حول اربعين نوعاً من المعالجة بالاشعة السينية لتسعين حالة من الامراض الداخلية على ان النتائج تتراوح بين الشفاء التام وبين عدم وجود اي تغيير في حالة المرض.

٧.٧ - السرطان:

تسقط كل المقارنات بين ما قدمته علوم الاشعة السينية وما تقدمه علوم اخرى عند استعراض الخدمات الجلى التي قدمتها الاشعة السينية في مجال محاربة السرطان. فالمعالجة بواسطة الاشعة السينية (او اشعة غما) استطاعت ان تنقذ حياة عشرات الآلاف من الناس، او ان تخفف آلام الذين تم اكتشاف السرطان لديهم بعد فترة رمية من ظهوره. وكل هذا بالرغم من ان السرطان يبقى السر الطاغي على تفكير كثيرين من العاملين في حقل الطب.

ما هو السرطان؟

يطلق اسم السرطان على الانسجة التي تنمو بشكل غير طبيعي اي بسرعة أكبر من سرعة نمو الانسجة السليمة.

ولا تملك الخلايا السرطانية نفس خصائص ووظائف الخلايا الطبيعية التي انطلقت منها. وهي تنتقل بسهولة الى الانسجة المجاورة والاوعية الدموية واللامفوية. وتبقى هذه الخلايا عادة شابة، اي صغيرة بسبب سرعة الانقسام والنمو في الانسجة المصابة. وهذا ما يسمح بتمييزها عن الانسجة الطبيعية بواسطة الميكروسكوب. ويسبب النمو السرطاني فقر الدم والهزال والوهن... وفي النهاية الموت، لان الخلايا السرطانية تأخذ الغذاء والاوكسجين فتحرم الخلايا السليمة من ذلك وتسبب لها الضعف والموت.

ولقد دلت التجارب على وجود تشابه واضح بين الخصائص الكيميائية لمختلف الانسجة السرطانية بصرف النظر عن اختلاف مكان وطبيعة العضو المصاب. ولو صحت هذه النتائج لاصبح بالامكان معالجة كل الاورام الخبيثة بنفس الطريقة وبنفس العقاقير ان وجدت.

وتتميز الخلية السرطانية عن الخلية السليمة بما يلي:

أ - في النسيج السرطاني يتحول اثنا عشر جزيئاً من السكر الى حامض لبنيك وجزيء واحد يتأكسد. واما في الخلية السليمة فمقابل كل جزيء سكر يتحول الى حامض اللبنيك يتأكسد جزيء آخر. وهذا يعني ان تغذية الخلية السرطانية تشبه عملية التخمير.

ب - تزداد نسبة السكر في الدم.

ج - تزداد كمية البوتاسيوم وتنقص كمية الكالسيوم كما قلنا سابقا.

د - يحوّل مصل الدم ازرق المتيلين الى سائل قلوي لا لون له بينما لا يفعل مصل الدم السليم الشيء نفسه.

هـ - تنقص كمية البروتيين والنتروجين (N_2).

و - يتم افراز خميرة (Enzyme) تساعد على هضم البروتيين.

والاسباب الاساسية لوجود السرطان تنحصر في حصول تغيير داخل الخلية قادر على الاستمرار حتى النهاية. وهذا التغيير السرطاني يمكن ان يحدث نتيجة اي عامل التهاب او اثارة او تنشيط. وهذه العوامل قد تكون فيزيائية أو كيميائية او بيولوجية.

٧.٧.١ ـ **العوامل الفيزيائية**: ويمكن اعطاء الامثلة التالية عنها:

- الجروح
- ارتفاع درجة الحرارة
- التعرض لاشعة قصيرة طول الموجة كالاشعة تحت البنفسجية والاشعة السينية والاشعاعات النووية. وتجدر الاشارة الى ان الاشعة تحت البنفسجية موجودة في اشعة الشمس مما يدعو للحذر من الافراط في التعرض لاشعة الشمس بالرغم من ضرورة هذه الاشعة لجسم الانسان وخاصة لاجسام الاطفال.

٧.٧.٢ ـ **العوامل الكيميائية** ومن بينها:

- توقف سريان الدم في الاوعية الشعيرية وبالتالي حرمان الانسجة من الغذاء والاوكسجين.
- عناصر كيميائية مساعدة لظهور السرطان. ففي العام ١٩١٥ استطاع باحثون يابانيون ان يبرهنوا بالتجربة على ان وضع زفت الفحم على جلد اذن الارنب يؤدي الى تورمات سرطانية. ومنذ ذلك اليوم بدأ الباحثون عملية التفتيش عن الفحوم الهيدروجينية.
- الكولسترول والدهنيات الساخنة
- افرازات داخلية كالهرمونات والاستروجان (Oestrogènes).

٧.٧.٣ ـ **العوامل البيولوجية**: ونذكر منها:

- البكتيريا
- الفيروس

- بعض الديدان المعوية (Helminthes) .

وبشكل عام يمكن القول بأن تغيرا سيطرأ على كل خلية قابلة للنمو ، وذلك تحت التأثير الدائم او المتقطع لعامل التحريض. ومع استمرار هذا التأثر يصل التغير في الخلية الى درجة لا يمكن العودة عنها حتى ولو زال عامل التحريض.

ولكن هل من الممكن ان تؤدي الهرمونات الى ظهور السرطان؟

لقد دلت التجربة على امكانية حماية الفأرة من سرطان التجويف الصدري (Thorax) وذلك باستئصال المبيض اي بازالة الاوسترين (هرمون انثوي). وقد ثبت عمليا ان هذا الهرمون يسبب السرطان الصدري. فقد تم حقن بعض الحيوانات الطبيعية بالاوسترين فظهر نمو غير طبيعي في حلمة الصدر.

وحول نفس الموضوع دلّت التجارب انه بالامكان ايقاف سرطان حلمة الصدر بحقن الانثى المريضة بهرمون ذكرى اسمه تستوسترون (Testostérone) .

واما موضوع الوراثة في انتقال السرطان فما زال يحتل مركزا مهما في عالم الباحثين. فهو، ان صح ، العامل الاكثر مرارة بين العوامل المساعدة على ظهور السرطان. ومن المعروف اليوم ان خصائصه تنتقل من جيل الى جيل بالوراثة. وبعد مراقبة ظهور سرطان الصدر عند الفئران تبين ان هذا النوع لا يظهر مطلقا بين سلالة معينة من الفئران ، بينما يظهر في سلالة اخرى لم تخلط بالاولى عند كل فأرة تبلغ سنا معينة. ولكن هذا لا يعني ان ابن - أو بنت - انسان ، اصيب فيما بعد ، بالسرطان ، سيصاب حتما بالسرطان. فهذا المرض لا ينتقل ، كمرض من الاهل الى الاولاد بالوراثة. وما يمكن ان يتم نقله بالوراثة قد يكون حساسية للسرطان. وقد لا تظهر مطلقا هذه الحساسية اذا ما تمت حماية الفرد من العوامل الخارجية المساعدة على ظهور السرطان.

ولم يتمكن الباحثون من معرفة ما اذا كانت انواع المأكولات تساعد على ظهور السرطان ام لا . ولكن يبدو ، من الناحية النظرية على الاقل ، ان مراقبة انواع المأكولات قد تكون عاملا مهما في ايقاف تكون ورم خبيث معين . وقد ظهر منذ سنوات تيار جديد في ميدان الطب يدعو لاعتماد مراقبة المأكولات طريقا للحماية ، ليس من السرطان فقط ، بل من كل ما يحدّق بالانسان من امراض . ويدعو هذا التيار للعودة الى الطبيعة في صناعة مأكولاتنا والابتعاد عن كل ما هو مبالغ في صناعته . ويستشهد هؤلاء الاطباء بالطب الشرقي القديم الذي يبتعد ، قدر المستطاع ، عن العقاقير المركبة .

والعقبة الاساسية التي يواجهها العاملون في مجال تحديد اسباب ظهور السرطان تنحصر في استحالة اجراء التجارب على الانسان لاسباب لا يجهلها احد . ومعظم المعلومات التي يتناقلها المختصون تعتمد على احصاءات تربط بين نسبة المصابين بالسرطان ضمن فئة معينة وبين تصرف هذه الفئة بالذات . وعلى سبيل المثال ، واضافة للجزم بأن الزفت (Goudron) يساعد على ظهور السرطان ، ربط الباحثون بين ظهور سرطان الرئة وبين الدخان اذ تبين ان ظهور هذا السرطان يكثر ، احصائيا ، عند المدمنين على الدخان ، ويقل ، دون ان ينعدم ، بين غير المدخنين .

٧.٨ - معالجة السرطان

منذ ان بدأ الانسان يعاني من امراض السرطان والباحثون يحاولون استنباط الطرق الكفيلة بايقاف هذا المرض الذي ما زال مستعصيا . وقد دلت التجربة على ان كل الوسائل الكيميائية (ومنها سم الحية) ، والهرمونية والبيولوجية لم تعط اي مفعول يذكر على نمو السرطان في الانسجة المريضة . والوسائل الوحيدة التي اثبتت حتى الآن بعض الفعالية هي ، الى جانب الجراحة ، تلك التي تستعمل المعالجة بالاشعة السينية او الاشعاعات النووية والنترونات .

وفي مجال المعالجة بالاشعة السينية يجب التمييز بين مرحلتين مهمتين :

أ - القضاء موضعيا على النمو السرطاني ، ومن ثم تطهير المكان المصاب بازالة «انقاض» الخلية المريضة بعد قتلها بالاشعة.

ب - اعادة «ترميم» الجزء الذي ماتت خلاياه المريضة بواسطة خلايا طبيعية تأتي لتشفي جرحا اوجدته الاشعة السينية والسرطان وسمومه.

وتجدر الاشارة الى ان حساسية الخلايا المريضة تحت تأثير الاشعة السينية اكبر من حساسية الخلايا الطبيعية مما يجعل من الممكن القضاء على الورم الخبيث دون القضاء التام على الخلايا الطبيعية المحيطة به. ولكن ، من ناحية ثانية ، لا يمكن ان تتم المعالجة دون احداث جرح في الانسجة السليمة.

وهذا يطرح اسساً جديدة للمعالجة بالاشعة السينية لا تنطلق من فاعلية الجرعة في قتل التورم الخبيث ، وانما من تحمل الخلايا السليمة للجرعة المسلطة على العضو او المنطقة المصابة. وتدور بعض الابحاث لمعرفة ما اذا كان المفروض اعطاء الجرعة دفعة واحدة ام على دفعات وما اذا كانت الفاعلية تتعلق بطول الموجة المستعملة او بقيمة التوتر العالي المسلط على طرفي انبوب الاشعة السينية.

والاجوبة على هذه الاسئلة ما زالت مجتزأة بالرغم من التراكمات الهائلة عبر عشرات السنين من العمل الدؤوب والملاحظات الدقيقة. ويمكن حاليا اعطاء الملاحظات التالية :

أ - الجرعة اللازمة لقتل خلايا سرطان معين تتغير بتغير طبيعة هذا السرطان. ولكن يمكن القول انها تتراوح بين ٢٥٠٠ و ٣٥٠٠ رونتغن تقريبا.

ب - من المفضل اعطاء الجرعة على دفعات (طريقة كوتار Coutard) بحيث يعطى المصاب جرعة يومية (تتراوح بين ٥٠ و٢٥٠ رونتغن)

اصغر من الجرعة التي تحدث طفحا على الجلد . ويجب الاستمرار في اعطاء هذه الجرعات الصغيرة حتى الوصول الى جرعة اجمالية كبيرة نسبيا . وهذه الطريقة تستعمل في معالجة السرطان الذي مضى على ظهوره بعض الوقت . وبالرغم من شيوع هذه الطريقة يظن الكثيرون من كبار العاملين في هذا الحقل بان جرعة كبيرة دفعة واحدة تبقى ضرورية لمنع الانسجة المصابة من « لملمة » خلاياها الميتة واصلاح ما خربته الاشعة السينية . ومن اجل حماية الجلد يصار الى توجيه الجرعة الكبيرة من اماكن متعددة بحيث لا تؤثر على الجلد ، اذ ان الجرعة المسلطة على كل جزء من الجلد اقل من تلك التي تسبب الطفح الجلدي .

ج - لا يؤثر طول موجة الاشعة السينية المستعملة على فعالية المعالجة . وقد اثبتت تجارب عديدة ان الاشعة السينية الطرية والاشعة القاسية (التي يتم الحصول عليها تحت توتر عال مرتفع) لها نفس النتائج البيولوجية فيما يتعلق بقتل الحيوانات او احداث تغيرات معينة . وتجدر الاشارة الى وجود ابحاث كثيرة نشرت نتائجها في عدة مقالات تشير الى نتائج معاكسة ، اي الى ان النتائج التي يمكن الحصول عليها بواسطة الاشعة الطرية تختلف عن تلك التي يتم الحصول عليها بواسطة الاشعة القاسية . وبالرغم من ذلك يبقى من الممكن ، في بعض الحالات ، ان نفسر هذا التناقض بالقول ان المادة تمتص الاشعة الطرية اكثر مما تمتص الاشعة القاسية ، وذلك لانه كلما قصر طول الموجة زادت امكانية اختراق الاشعة لهذه المادة . وبكلام آخر يمكن القول بأن شدة الاشعة الطرية تتناقص كلما توغلت في المادة ، بينما شدة الاشعة القاسية تبقى شبه ثابتة على طول مسارها داخل المادة .

وقد جرت تجارب بواسطة الاشعة السينية الطرية واخرى بواسطة الاشعة القاسية على حيوان يسمى سمندل الماء (Triton) . وقد ادت الاشعة

السينية القاسية الى بروز اذناب للحيوان بشكل متناظر أي ان ما حصل على الجهة اليمنى حصل على الجهة اليسرى. واما الاشعة الطرية فلم تؤدِ الى نفس التناظر بالرغم من انها ادت الى بروز اذناب.

وتفسير ذلك يكمن في ان الاشعة السينية القاسية اخترقت جانبي الحيوان بنفس الشدة بينما لم تحافظ الاشعة الطرية على شدتها. فالجانب الذي دخلت منه هذه الاشعة تعرض لآثارها اكثر من الجانب المقابل بسبب امتصاص المادة لجزء منها.

ويوجد حاليا في المستشفيات التي تعالج السرطان اجهزة اشعة سينية تعمل تحت توتر عال يصل حتى مليوني ڤولت. كما يوجد اجهزة تعمل تحت توتر عال يصل حتى ٢٠ مليون فولت يتم الحصول عليه بواسطة بتاترون.

والهدف من استعمال مثل هذه الاجهزة هو الحصول على اشعة سينية قاسية (ذات طول موجة قصير) من اجل معالجة عميقة دون احداث جرح كبير في الانسجة السليمة بسبب قلة امتصاصها لهذه الاشعة. وقد يستحسن استعمال مثل هذه الاجهزة من اجل معالجة السرطان في الاماكن الداخلية من الجسم كسرطان المبولة مثلا. ولكن ليس هناك اي مبرر لاستعمال توتر عال (مليون فولت مثلا) في معالجة اصابات سطحية او غير بعيدة عن الجلد. ففي هذه الحالات يمكن استعمال اجهزة تعمل تحت توتر لا يتعدى ٢٠٠ الف فولت.

٩.٧ - استعمالات اخرى للاشعة السينية في ميدان الطب

الى جانب الاستعمالات التي ذركناها حتى الآن، وخاصة في ميدان معالجة السرطان، تؤدي الاشعة السينية خدمات اخرى وكثيرة. ومن هذه الخدمات التصوير بالاشعة الذي اصبح شائعا وروتينيا في بعض الميادين الطبية. وسنتكلم على هذا الموضوع في فصل لاحق.

وكلنا نعلم مدى الامكانات التي وضعها استعمال المجهر امام الباحثين

من اجل معرفة تفاصيل بعض الاجسام المتناهية الصغر. ولكن قصور المجهر عن اظهار تفاصيل الخلايا الحية دفع الباحثين لاستعمال الاشعة السينية من اجل استكشاف تركيب هذه الخلايا بنفس الطريقة التي تم فيها دراسة الاجسام الصلبة، اي بطريقة الحيود التي فصلناها في الفصل الرابع من هذا الكتاب.

ومعرفة تركيب الخلية السليمة وتركيب الخلية المصابة بالسرطان مثلا قد تؤدي الى اغناء المعلومات التي يعمد الباحثون لتجميعها من اجل خوض المعركة القاسية مع امراض التورم الخبيثة. ولقد ادت بالفعل هذه الدراسات الى ملاحظة اختلاف في التركيب بين خلية سليمة واخرى مريضة اشرنا اليه من خلال عرضنا للسرطان.

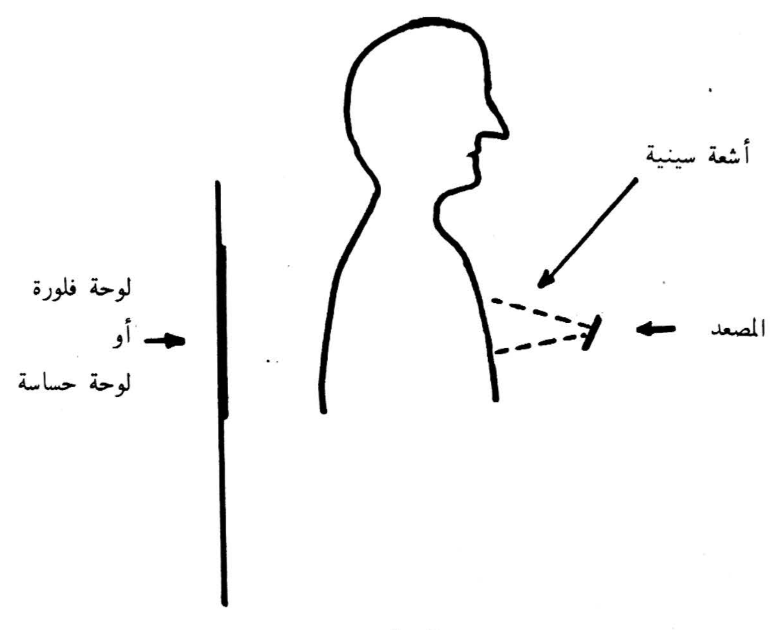
الفصْل الثامِن :
التصوير بالأشعّة في ميْدان الطبّ والبيُولوُجيا

١.٨ - مقدمة

لقد رأينا أن قصر طول موجة الاشعة السينية يعطيها امكانية اختراق المادة التي تكون المسافات بين ذراتها مقاربة لطول الموجة هذا. ورأينا ايضا ان المادة تمتص قسما من هذه الاشعة يختلف باختلاف طبيعة العناصر المكونة للمادة ويتغير بتغير طول الموجة. وبكلام آخر يمكن القول ان شفافية المادة ليست ثابتة بل تتغير بتغير العناصر الممتصة للاشعة السينية.

وقد كونت هذه الملاحظات اساس التصوير بالاشعة اذ ترسل حزمة اشعة سينية من اجل اختراق الجسم المراد فحصه بالاشعة بعد ان يتم وضع شاشة فلورة او لوحة حساسة (فيلم) وراء الجسم (صورة رقم ٨ - ١). فاذا كان الجسم غير متجانس (كخشبة تحوي في داخلها قطعة من حديد) اصبح التوزيع الطيفي للحزمة التي تخرج من الجسم غير متجانس وأثّر على لوحة الفلورة أو اللوحة الحساسة. والتأثير على هذه اللوحة يختلف بين نقطة وأخرى بسبب اختلاف شدة الاشعة السينية الخارجة من الجسم بعد أن يتم إمتصاص قسم منها. وما يتم الحصول عليه على اللوحة يشكل «ظلّ» داخل الجسم.

ويذكر القارىء ان أول صورة بالاشعة تم الحصول عليها أثناء الاجتماع التاريخي الذي عقد في كانون الاول من العام ١٨٩٥ والذي اعلن رونتغن



صورة رقم ٨ ـ ١

التصوير بالأشعة

خلاله عن اكتشافه. فبعد ان اكد المكتشف ان هذه الاشعة قادرة على اختراق المادة عرض فان كوليكر ان يصار الى تصوير يده فكان ما اراد، وكانت الصورة الاولى من نوعها.

ومنذ ذلك اليوم بدأ الباحثون باستعمال الأشعة السينية في تطبيقات شتى. وكانت التطبيقات الاولى قد انحصرت في البدء بالتصوير بالأشعة الذي ما زال يشكل حتى يومنا هذا وسيلة اساسية وفعالة في ميادين عديدة كالطب والصناعة.

٢.٨ ـ التصوير الطبي:

أصبح التصوير بالاشعة وسيلة لا غنى عنها من اجل الكشف عن

مكان الشوائب في جسم الانسان. ويمكن اعطاء بعض الامثلة عن هذه الاستعمالات بعد ان اصبحت معروفة ودخلت ميدان العمل اليومي في المصحات والمستشفيات:

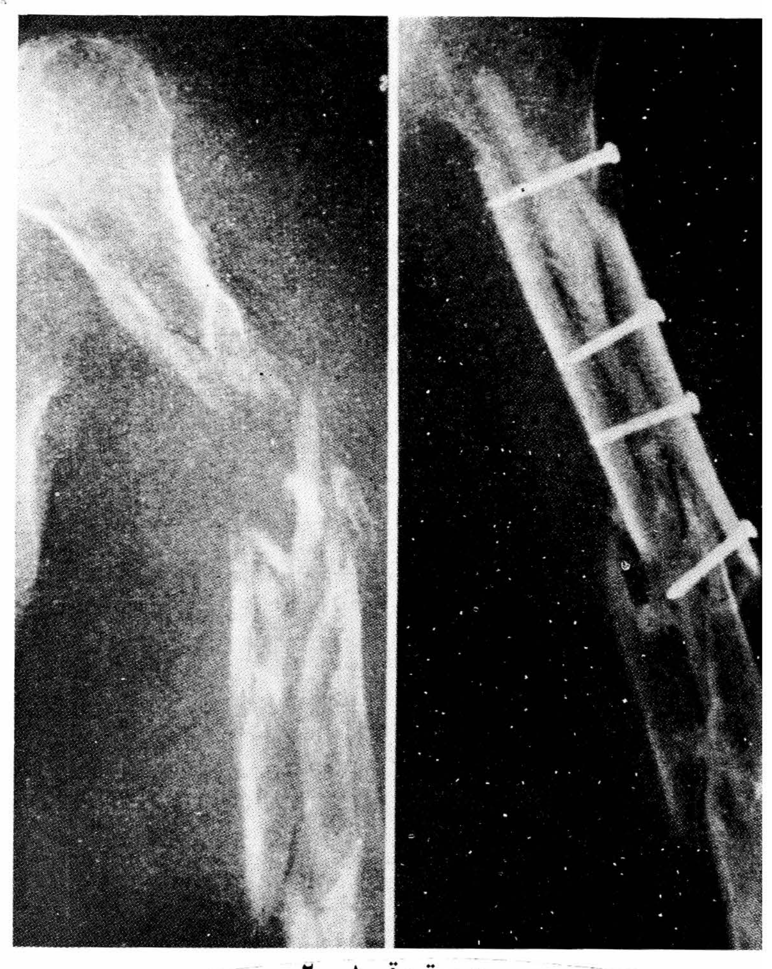
أ - فحص العظام المكسورة
ب - دراسة حالة الاسنان من اجل تحديد العلاج المناسب
ج - تحديد اماكن الاجسام المعدنية التي يبتلعها الطفل كالمسامير والدبابيس..
د - البحث عن الرصاص وشظايا القنابل في حال بقائها في الجسم بغية تحديد مكانها وانتزاعها.
هـ - فحص الاورام الخبيثة.
و - تصوير الرئة والمفاصل بحثا عن امكانية وجود مرض السل.
ز - تصوير «الحصى» في الكلية او المبولة
ح - فحص الجهاز الهضمي
ط - دراسة بعض امراض الكبد
ى - دراسة بعض حالات الحمل... الخ

وتجدر الاشارة الى ان التصوير بالاشعة وصل الى اوجه خلال الحرب العالمية الثانية إذ ساهم، على ايدي أطباء أكفياء، في انقاذ حياة كثير من الجنود الذين تلقت اجسامهم رصاصه او شظايا قنبلة او لغم ارضي.

وفي الصورة رقم ٨ - ٢ نعطي صورتين لذراع احد الجنود وقد كسرتها رصاصة: صورة قبل اصلاح الكسر واخرى بعده.

اما في الصورة رقم ٨ - ٣ فنعطي صورتين لجمجمة اصيبت بكسر: واحدة قبل اصلاحها وثانية بعد ان وضع عليها لوحة معدنية صغيرة من التانتال وهو عنصر فلزي شبيه بالفضة او البلاتين.

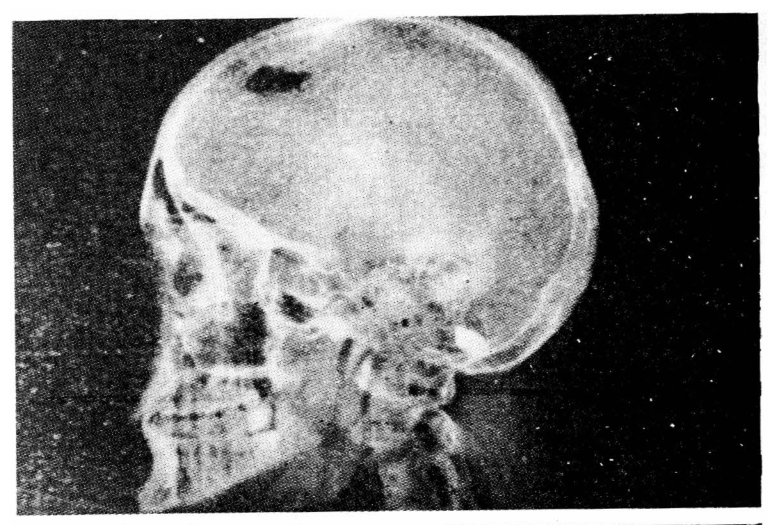
ولتصوير الجهاز الهضمي يتوجب تحويله الى جسم معتم اي جسم يمنع

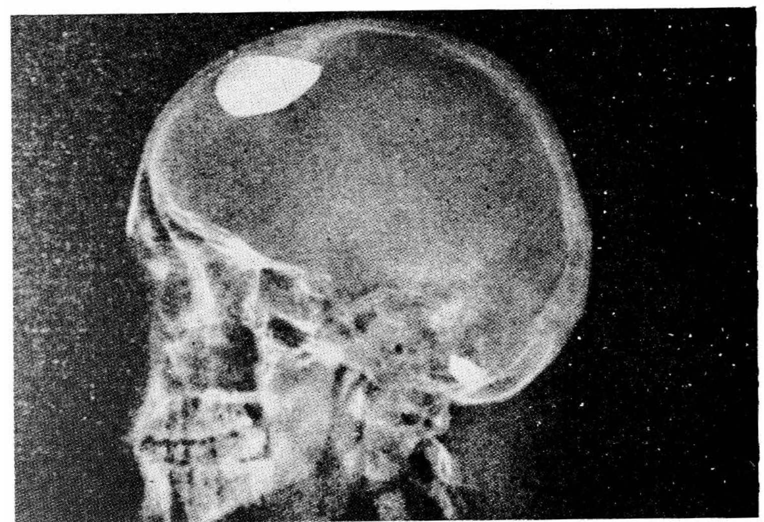


صورة رقم ٨ ـ ٢

صورتان بالاشعة لذراع مكسور

مرور الاشعة ، وذلك من اجل خلق فروق في معامل الامتصاص بين نقطة واخرى. وكذلك بالنسبة لتصوير المرارة والشعب الهوائية والكلية ورحم المرأة والكبد والشرايين والاوردة... وتجدر الاشارة الى ان المادة المعتمة



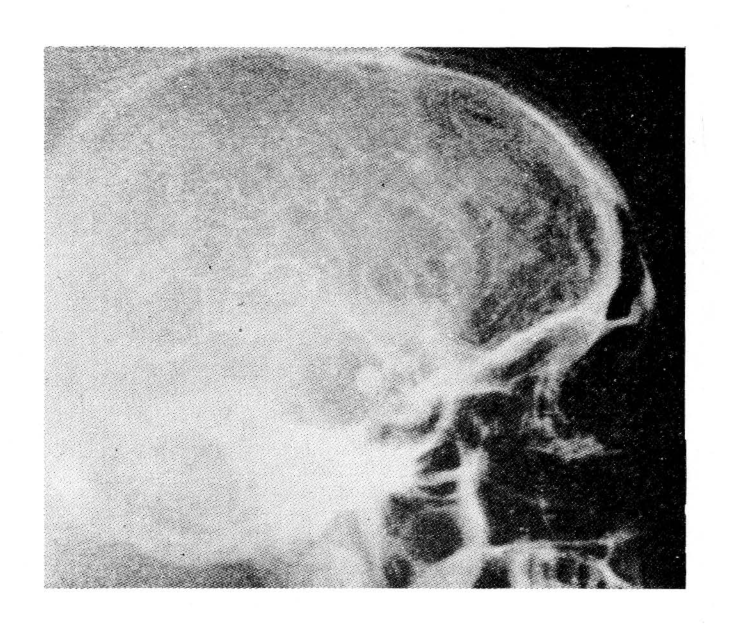


صورة رقم ٨ ـ ٣

صورتان بالاشعة لجمجمة اصيبت بكسر:
قبل وبعد اصلاحها

تتغير بتغير الجزء المراد تصويره. فالمادة التي تستعمل في تصوير الكلية لا تستعمل في تصوير المعدة او الامعاء... واصبح اختيار هذه المادة المعتمة علماً بحد ذاته يتطلب في بعض الحالات تقنيات خاصة ومتطورة. ومن هذه الحالات نذكر تصوير النخاع الشوكي وتصوير الاوعية الدموية واللامفوية والقلب وتصوير الكلية.

وتبين الصورة ٨ - ٤ انتفاخا في جدران الشريان في الرأس (Anévrisme d'artère cérébrale). وانفجار مثل هذا الجيب (الانتفاخ) بسبب ضعف الجدران يؤدي الى نزيف داخلي: ومن المعتقد ان الرئيس



صورة رقم ٨ - ٤

صورة بالاشعة تبين شرايين الرأس

الاميركي روزفلت (F.D. Roosvelt) والرئيس السوفياتي ستالين (J. Staline) قد ماتا نتيجة مثل هذا النزيف.

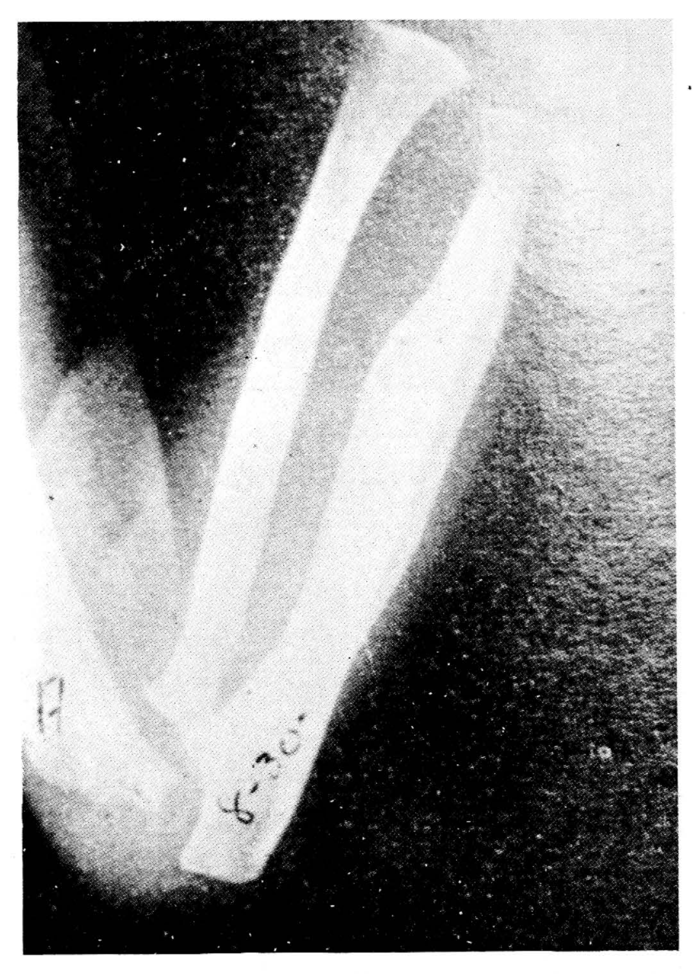
وفي ايامنا هذه تزداد ضرورة ايجاد مواد معتمة جديدة من اجل تصوير المزيد من اجزاء جسم الانسان بواسطة الاشعة السينية.

ولقد ادى التصوير بالاشعة خدمات جلى للطب لا في الكشف عن الامراض في جسم الانسان المعاصر فحسب بل في مقابلة الظروف الصحية في ايامنا هذه بالظروف الصحية التي سادت منذ آلاف السنين. فقد تم تصوير المومياء بالاشعة السينية دون الاضطرار لتعريتها. ونتج عن ذلك مقابلة مهمة بين انسان اليوم والانسان المصري القديم. ولقد تم اكتشاف آثار نفس الامراض ونفس سوء التغذية المعروفة حاليا بحيث ينعكس ذلك على تركيب العظام.

ولقد جرت دراسات حول معرفة آثار جرعات الفيتامينات التي يأخذها الطفل، على نمو عظامه وخاصة فيتامين آ (Vitamine A). وفي الصورة رقم ٨ - ٥ نبين الترسبات (Hypérostose corticale) التي تتراكم على عظم زند (Cubitus) طفل عمره سنتان بعد أن اعطته امه جرعة كبيرة من فيتامين آ وفيتامين د (Vitamines A et D) وهذا يعني ان زيادة الفيتامين تؤدي الى مضاعفات قد تكون اخطر من تلك التي تنجم عن نقصانه.

وعند عرضنا لخصائص الاشعة السينية اشرنا الى تأثر اللوحات الحساسة (فيلم) بهذه الاشعة. ومن الطبيعي القول اذن بأن دراسة درجة تأثر (او درجة سواد) اللوحة بواسطة ميكروفوتومتر او آلة قياس الكثافة (densitomètre) تعطي معلومات مهمة في ميدان الفحص الطبي او في ميدان البحث العلمي.

ولنفترض أن طفلا ابتلع قطعة معدنية (دراهم، دبوس...) وأن الطبيب يريد معرفة مكان وجودها في الجهاز الهضمي من اجل مراقبتها



صورة ٨ - ٥

صورة بالاشعة تظهر ترسبات على زند طفل.

وتتبع سيرها داخل هذا الجهاز. فالوسيلة المثلى ، حتى لا نقول الوحيدة ، هي التصوير بالاشعة او استعمال لوحة فلورة. وهذا ما يحصل بالفعل ،

خاصة اذا مضى اكثر من يومين دون خروج القطعة المعدنية (بالطريقة السلمية).

وتستعمل آلة قياس الكثافة وتقنيات خاصة اخرى في كثير من الدراسات، نذكر منها:

- قياس وجود المعادن في العظام وربطها بانواع المأكولات التي يتناولها الانسان.
- تكلس يعود لمرض السل في المفاصل
- كثافة العظام والعضلات والانسجة الاخرى خلال عملية نمو الطفل
- نقص كمية أملاح الكالسيوم في عظام بعض المرضى المصابين بالتهاب المفاصل المزمن. (معدل هذه الكمية هو حوالي ٠،٤ غرام في كل سنتمتر مكعب ($0,4g/\ cm^3$)).

كيف تتم عملية القياس؟

يصار عادة الى قياس كثافة العظم بمقابلة النتيجة التي يتم الحصول عليها بواسطة العظم بالنتيجة التي يتم الحصول عليها على نفس (الفيلم) اللوحة الحساسة باستعمال قطعة من العاج او من الالمنيوم.

ولقد تطورت تقنية التصوير بالأشعة بمرور الأعوام، بل الايام، فأصبح بالامكان استعمال بقع بؤرية متناهية الصغر تسمح بتصوير دقيق وواضح دون اي اضعاف لشدة الاشعة. واستعمال اشعة شديدة يساعد على الحصول على الصورة خلال وقت قصير، مما لا يعيق حركة المريض، ويحافظ على وضع الصورة.

٣.٨ - تقنيات خاصة في التصوير الطبي

بعد ان اثبت التصوير الطبي فعاليته عمد الباحثون الى تعميم استعماله واستنباط تقنيات خاصة ومتعددة تساعد على حل المتطلبات الجديدة التي اوجدها هذا التوسع في الاستعمال. وبعض هذه التقنيات يستعمل في مجال

التصوير الصناعي ايضا. وفيما يلي سنورد وصفا موجزا لبعض هذه التقنيات.

٨.٣.١ - التصوير المجسم

يعد التصوير الطبي العادي كافيا في كثير من الحالات، اذ تعطي هذه الطريقة صورة ذات طولين (بعدين) للجزء المراد رؤيته في الجسم. ولكن بعض الحالات تستدعي رؤية مجسمة من اجل تحديد أدق لمكان الجسم الغريب او للخلل الحاصل في بعض اجزاء الجسم كالورم الخبيث مثلا.

وللحصول على مثل هذه الرؤيا يصار الى اخذ صورتين بالطريقة العادية: واحدة عند وضع انبوب الاشعة السينية في نقطة معينة بالنسبة للجزء المراد تصويره، وثانية عند وضع الانبوب في نقطة تبعد عن النقطة الاولى حوالى سبعة سنتيمترات، اي المسافة بين عيني الانسان.

وتتم رؤية هاتين الصورتين في آن معا بواسطة آلة مجسمة بحيث ترى عينا الباحث صورة مجسمة للجزء المصور تماما كما لو وضع هذا الباحث عينيه في المكانين المتتاليين لانبوب الاشعة السينية.

٨.٣.٢ - التصوير الحركي

تسمح هذه الطريقة بتسجيل حركة الاعضاء الداخلية كالقلب والرئتين. ويتم ذلك بوضع حاجز من الرصاص (Diaphragme)، بين المريض والفيلم، مزود بفتحة (fente) صغيرة لا تتجاوز الميلمتر الواحد. واثناء تسليط الاشعة السينية يصار الى تحريك الفيلم مسافة تساوي عشرين او أربعين مرة قيمة عرض الفتحة. وهكذا يصبح ظل القلب اكبر او أصغر حسب سرعة نبضه، وهذا ما يسمح بتسجيل حركة القلب.

واما بالنسبة للاعضاء التي تتحرك بسرعة اقل من سرعة القلب فيصار الى تخفيض سرعة تحرك الفيلم.

٨.٣.٣ ـ التصوير السينمائي بالاشعة السينية

المبدأ المستعمل في هذه الطريقة هو مبدأ التصوير السينمائي مع فارق بسيط يعود الى طبيعة الاشعة المستعملة . ويتم التصوير باحدى الطريقتين التاليتين :

- الطريقة غير المباشرة حيث يصار الى اخذ الصور عن لوحة فلورة .
- الطريقة المباشرة حيث يتم التصوير مباشرة على فيلم سينمائي خاص باستعمال الاشعة السينية .

وقد نجح الباحثون في الحصول على افلام واضحة باستعمال حزمة اشعة سينية شديدة . وتستعمل عادة انابيب اشعة سينية فيها المصعد في حالة دوران (راجع الفصل الثاني) . وتجدر الاشارة الى ان اول جهاز مكن العلماء من الحصول على مئة صورة على الفيلم الذي يتحرك بسرعة ثابتة تم استعماله عام ١٩٤٩ . وكان الوقت الذي يستغرقه اخذ صورة واحدة يساوي عشرة اجزاء من مليون جزء من الثانية . واستعمل هذا الجهاز في دراسة احتراق المحروقات في الصواريخ .

٨.٣.٤ ـ التصوير الوقائي

يتم التصوير بالطريقة العادية ويهدف لاخذ عدة صور لعدة أشخاص بأرخص الاسعار ، اي باستعمال اصغر فيلم ممكن في تصوير اكبر جزء ممكن من الصدر . وقد أدى تطوير هذه الطريقة الى إمكان مراقبة صحة التلامذة في المدارس والعمال في المصانع ، وبشكل خاص عمال المناجم حيث تأخذ الوقاية حجمها الحقيقي . وقد تم بالفعل اكتشاف ترسبات غبار المعادن في رئتي عامل المناجم . وقد تؤدي هذه الترسبات ، الى جانب الظروف القاسية التي يعيشها هؤلاء العمال ، الى مضاعفات خطيرة كالتليّف او السل وغيرهما . ويؤدي غبار الباريليوم الى مضاعفات اخطر بكثير من مضاعفات غيره من المعادن ، وقد لا تظهر الا بعد مضي ست سنوات على دخول الغبار الى الرئة .

٨ .٣. ٥ ـ التصوير باشعة احادية طول الموجة

عند تطرقنا لدراسة امتصاص المادة للاشعة السينية (الفصل الثالث) رأينا اهمية معرفة طول موجة الاشعة المسلّطة. وهذا يعني ان استعمال حزمة متعددة طول الموجة (Polychromatique) يدخل شيئا من عدم الوضوح في الصورة اي في «ظل» الجسم المراد تشخيصه. ولتلافي ذلك، فكر الباحثون باستعمال اشعة احادية طول الموجة. ولقد ادى ذلك للحصول على صور اوضح تظهر المزيد من التفاصيل.

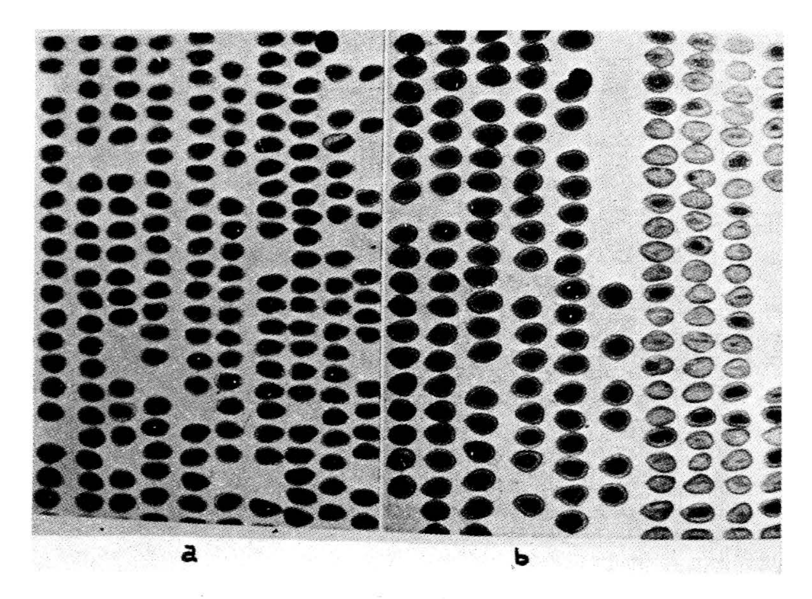
وهذه الطريقة تستدعي استعمال اشعة شديدة لان عزل اشعة احادية طول الموجة يؤدي بالطبع الى تخفيض الشدة. وغالبا ما تكون هذه الاشعة ($K\alpha$) الخاصة بأحد المعادن كالنحاس والحديد والكوبالت والكروميوم، اي نفس الاشعة المستعملة في مجال دراسة التركيب البلوري لبعض الاجسام الصلبة.

وفي الصورة رقم (٨ ـ ٦) نبين صورتين اخذتا لبعض الحبوب بهدف تبيان جودتها. الاولى (a) اخذت بواسطة اشعة متعددة طول الموجة والثانية (b) بواسطة اشعة احادية طول الموجة. ويظهر الوضوح على الصورة الثانية اكثر مما يظهر على الأولى.

وتسمح هذه الطريقة بالحصول على صور لاجزاء دقيقة من العظام، مما قد يؤدي لاكتشاف بعض الامراض منذ اللحظة التي تبدأ فيها. ومراقبة عظام اليد بدقة تؤدي لملاحظة اي تزايد غير طبيعي في نشاط الغدد الدرقية او اي خلل في النظام الغذائي. كما ان هذه الطريقة تساعد على اكتشاف سريع لسرطان القفص الصدري الذي يبدو كعظم جديد يتكون على العظم الطبيعي، او على اكتشاف الحرض (داء المفاصل).

٨ .٣. ٦ ـ التضخيم الالكتروني للصورة المتفلورة

لقد ظهر الفلوروسكوب كآلة عظيمة الفائدة وعملية جدا لانها تؤدي في



صورة رقم ٨ ـ ٦

صورة بالاشعة لاظهار جودة الحبوب

عملية التشخيص خدمات جلّى فهي :

- سريعة لا تحتاج لتحميض افلام او ما شابه ذلك
- اقتصادية لان لوحة الفلورة لا تتغير بين مريض وآخر .
- اكثر شمولا اذ انها تحل مكان آلاف الصور بالاشعة وتسمح بتتبع العمليات الطبية خطوة خطوة .

وبالرغم من ذلك فهي تشكو ، بطبيعتها ، من ضعف تألقها وهذا ما يقلل من إمكان رؤيتها بالعين المجردة بوضوح . وقد عمد الباحثون الى زيادة تألقها باستعمال تقنيات الكترونية قد تختلف من جهاز الى آخر .

وتجدر الاشارة الى ان تطور هذه التقنيات ادى الى استعمال الفلورة في ميادين غير طبية وخاصة في ميدان مراقبة عملية حيود الاشعة السينية

بواسطة البلوريات . وقد تم ذلك بالفعل منذ عام ١٩٥٤ على يد كوب و روز (Cope et Rose) اللذين راقبا عملية الحيود على شاشة تلفزيونية .

٨ .٣ .٧ - بث صورالاشعة بالراديو

ادى التوسع في استعمال التصوير بالاشعة الى وجود اجهزة اشعة سينية في كثير من مستشفيات الريف (في البلدان المتقدمة طبعا) . ووجود مثل هذه الاجهزة لا يعني دائما وجود الجهاز البشري المتطور القادر على تحليل كل الصور . وامام وجود حالة معقدة يعمد اطباء المستشفى الريفي لارسال هذه الصورة الى مستشفى كبير في المدينة القريبة من اجل عرضها على اختصاصي في ميدان تحليل صور الاشعة .

ويتم الارسال بنفس الطرق التي يستعملها الصحفيون من اجل ارسال صورهم الصحفية بالراديو . وتجدر الاشارة الى ان عملية ارسال صورة (35×40cm) تستغرق دقائق معدودات فقط .

٨ .٤ - التصوير المجهري بالاشعة

منذ العام ١٨٩٨ (1898) بدأ الباحثون باستعمال التصوير بالاشعة بغية تكبير الجسم ورؤية المزيد من تفاصيله بوضوح . وقد استعمل هيكوك (Haycock) ونفيل (Neville) هذه الطريقة في دراسة خليط من الذهب والصوديوم .

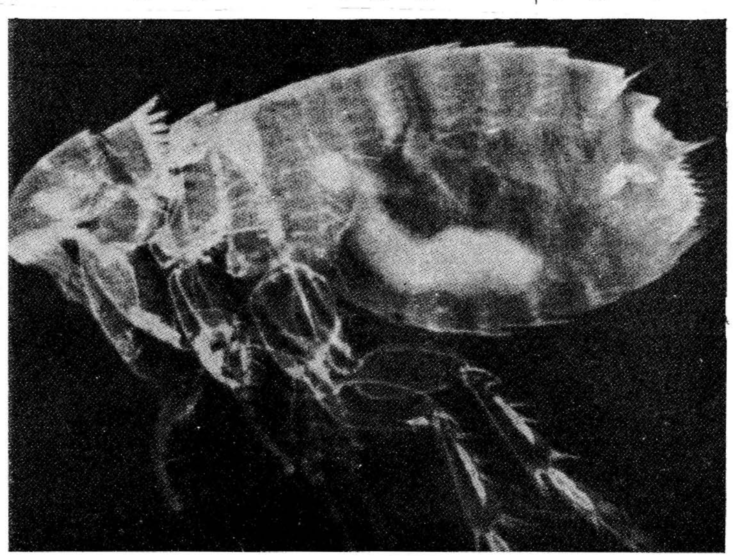
وقد اخذت التجارب شكلها العملي في العام ١٩١٣ (1913) في دراسة الاجسام غير المتجانسة على يد غوبي (Goby) ودوفيلي (Dauvillier) ولادارك (Ladarque) ، وبشكل خاص دراسة الاجسام البيولوجية . ولكن ضعف التوتر العالي المستعمل في الاجهزة (4000 à 8000 V) كان يعطي اشعة سينية طرية (طويلة طول الموجة) وهذا يفسر قلة اهمية النتائج التي توصلوا اليها في التصوير الطبي .

وفي العام ١٩٣٨ بدأت الدراسات الجدية لاستعمال هذه الطريقة بعد

أن تم صنع افلام ذات حبيبات دقيقة تصغر عشرة آلاف مرة حبيبات الفيلم العادي . وقد استعملت اجهزة اشعة سينية تعمل تحت توتر عال يبلغ عشرات الآلاف من الفولت (20000 à 30000 V) . وادت النتائج المشجعة التي حصل عليها كلارك (CLARK) في بلجيكا الى توسع كبير في استعمال التصوير المجهري بالاشعة .

واهم الخصائص المميزة لتقنية التصوير المجهري بالاشعة السينية تنحصر في اختيار جسم صغير الحجم والسماكة من اجل تصويره ، وفي اختيار افلام ذات حبيبات دقيقة ثم تكبير الصورة التي يتم الحصول عليها حتى الوصول الى قياسات معقولة .

وللتصوير المجهري بالاشعة تطبيقات بيولوجية . ومن الممكن استعمال فيلم عادي اذا كان المطلوب تكبير الصورة من خمسة الى عشرة اضعاف فقط . والصورة رقم ٨ ـ ٧ تبين برغوثا اخذت صورته بواسطة التصوير



صورة رقم ٨ ـ ٧

صورة برغوث بالأشعة السينية

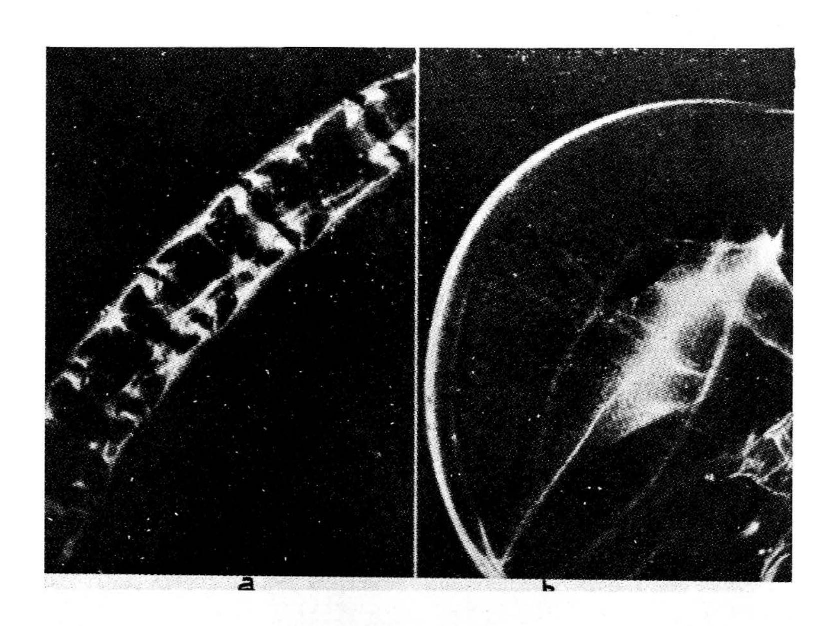
المجهري بالاشعة ثم كبرت فيما بعد. وتجدر الاشارة الى ان هذا البرغوث تغذى ببعض مركبات الباريوم (Baryum) قبل هذه الصورة.

وقد تطور استعمال هذه الطريقة نحو تصوير الاجزاء المتناهية الصغر والمتحركة كامعاء الحشرات مثلا مما يعطي معلومات هامة حول تركيب اجسام هذه الحشرات وحول طريقة حياتها.

وفي الصورة رقم ٨ ـ ٨ نقدّم صورتين مختلفتين تم التقاطهما بواسطة التصوير المجهري بالأشعة السينية:

a ـ رجل الذبابة

b ـ عينها التي يمكن ملاحظة اوجهها المتعددة.

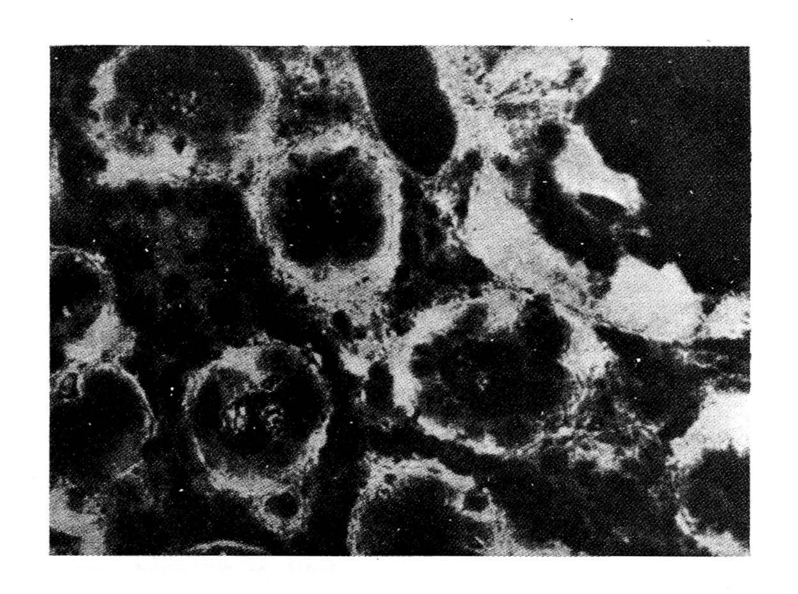


صورة رقم ٨ ـ ٨

A ـ رجل ذبابه

B ـ عينها

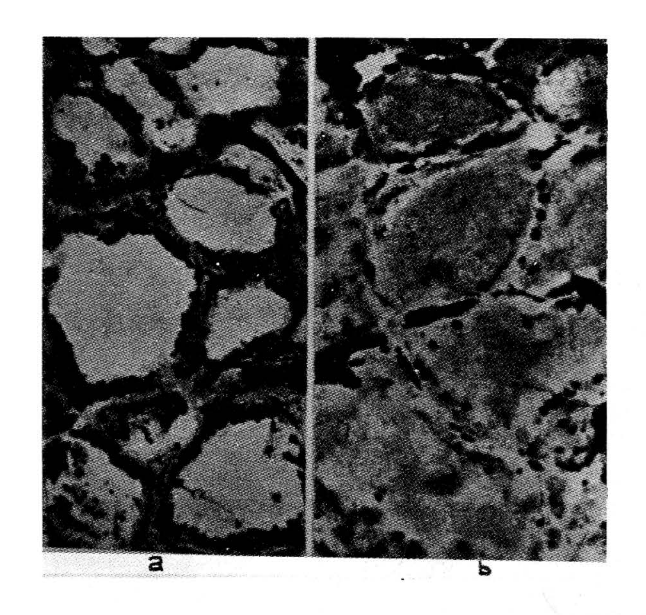
• والتطور الاهم لهذه الطريقة كان في استعمالها من اجل الكشف على الانسجة السرطانية. وبالرغم من ان النتائج الاولية التي حصل عليها لادارك (Ladarque) في فرنسا لم تكن مشجعة، فقد ساهمت التقنيات المختلفة والمتطورة في تذليل الكثير من الصعوبات بحيث اصبح التصوير المجهري في ايامنا هذه ممكنا ويعطي نتائج قيمة. ونجد في الصورة ٨ ـ ٩ مقطعا مستعرضا لسرطان شرجي.



صورة ٨ ـ ٩

صورة بالأشعة لخلايا شرجية سرطانية

ومن المعروف ان الغدة الدرقية معتمة بسبب وجود اليود فيها ولكن استخراج اليود منها يجعلها شبه شفافة بالنسبة للاشعة السينية. انظر الصورة رقم (٨ ـ ١٠) حيث



صورة ٨ ـ ١٠

A ـ قبل استخراج اليود من الغده

B ـ بعد استخراجه من الغدة

نرى صورتين الاولى اخذت قبل استخراج اليود والثانية بعد استخراجه. ونجد في الصورة الاولى مناطق اكثر سوادا من مناطق الصورة الثانية، مما يدل على وجود اليود فيها.

ويمكن في بعض الحالات استعمال التصوير المجهري المجسم بالحصول على صورتين منفصلتين كما شرحنا ذلك آنفا عند عرضنا لطريقة الستريوسكوبي.

٥.٨ - تصوير الاسنان والاضراس بالاشعة

يعلق الانسان اهمية بالغة على صحة اسنانه ومظهرها لاسباب تتراوح بين الاعتبارات الجمالية وبين الدور المهم الذي يلعبه الفم في تزويد جسم الانسان بالغذاء الضروري لنموه. ومن اجل المحافظة على صحة الاسنان يضطر الانسان الى مواجهة امراض عديدة تصيب الفم والاسنان كالخراج (abcés) في اللثة وتسوس الاسنان او قلة الكالسيوم فيها... الخ.

ومن اجل تشخيص هذه الامراض يعمد اطباء الاسنان حاليا للاستعانة بالاشعة السينية من اجل تصوير المنطقة المصابة. ونتيجة التشخيص هذه تسمح للطبيب باستنتاج ما يمكن عمله بغية الحصول على افضل النتائج.

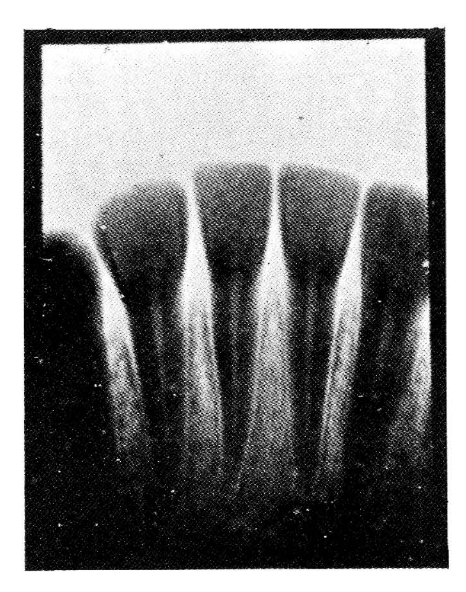
وغالبا ما تساعد الصور بالاشعة على اعطاء الطبيب المعالج الايضاحات اللازمة حول ضرورة خلع الضرس او امكانية ابقائه بعد تجويف القسم المصاب منه واعادة ملئه بمواد صلبة خاصة وغير سامة.

وفي بعض الحالات لا يوجد تحت ضرس من اضراس الحليب (اي الاضراس التي نبتت في فم الطفل) ضرس آخر (ينبت عادة بعد خلع الاول) مما يستوجب المحافظة على هذا الضرس اطول مدة ممكنة. والتصوير بالاشعة السينية خير وسيلة لمعرفة ما اذا كان مثل هذا الضرس موجودا ام لا.

وتمثل الصورة رقم (٨ - ١١) صورا بالاشعة اخذت لبعض اضراس البالغين واسنانهم.

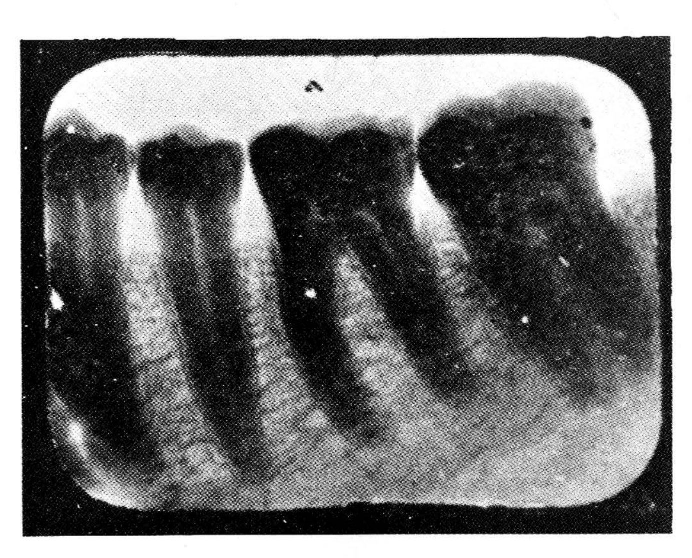
وفي ختام هذا الفصل لا يسعنا الا ان نؤكد الدور الرائد الذي لعبته وتلعبه الاشعة السينية في مجال التشخيص الطبي وفي المراحل التي قد تسبق او تلي العمليات الجراحية، وبشكل خاص تلك العمليات التي تتعلق بكسور العظام وامراض السرطان التي قد تصيبها. ولم يكن فان كوليكر مخطئا عندما اقترح تصوير يده بهذه الاشعة الرائعة. فهو قد رأى منذ

اللحظة الاولى عظمة الامكانات التي تضعها اشعة رونتغن في خدمة الجسم الطبي، ... والانسانية.



صورة رقم ٨ - ١١

صورتان بالأشعة لبعض الاسنان والأضراس



الفصْـل التّـاسـعْ :
التصْويرُ بالأشعَّـة في ميـدان الصّـنَاعة

٩ . ١ - المبادىء العامة

يهدف التصوير الطبي ، كما رأينا ، الى سبر أعماق جسم الانسان بحثا عن جسم غريب أو أي خلل طارىء في تكوينه . ويمكن استعمال نفس المبدأ في تصوير أي جسم لمعرفة درجة تجانسه وطبيعة تركيبه الداخلي . وهذا ما يحصل بالفعل في بعض الصناعات .

وتتجلى اهمية هذا التصوير الصناعي بالاشعة السينية عند دراسة الشوائب في معدن معين او في سبيكة معينة تدخل في صناعة بعض الآلات التي يستخدمها الانسان بشكل دائم . والمراقبة الدقيقة لحسن تجانس المعادن المستعملة يؤدي الى حماية حياة الانسان من الاخطار . ويستطيع القارىء ان يتصور الخطر الذي يحدق بحياة ركاب طائرة تحتوي بعض اجزائها على بعض الشوائب او بعض التفسخات الداخلية .

وحول الاجهزة والمبادىء العامة المستعملة في مجال التشخيص الصناعي يمكن ايراد ما يلي :

٩ . ١ . ١ - الاجهزة

يستعمل عادة انبوب اشعة سينية صنع مصعده من التونغستين ويحتوي بالقرب من مهبطه على شريط ساخن جدا يرسل الكتروناته نحو المصعد .

وخشية ارتفاع درجة حرارة المصعد يصار الى تبريده بواسطة الماء او الزيت مما يسمح بمرور تيار كهربائي كبير في الانبوب.

ويتم الحصول على التوتر العالي باحدى الطرق التي شرحناها في الفصل الثاني وهو يتراوح بين بضعة آلاف فولت وعشرين مليون فولت. واختيار قيمة التوتر العالي وبالتالي نوعية الجهاز المستعمل يعتمد على سماكة الجسم المراد فحصه:

- ثمانين الف فولت (80KV) لفحص لوحة من الالومينيوم سماكتها ٤ سم (4 cm).
- ١١٠ آلاف فولت (110KV) لفحص لوحة من نفس المعدن سماكتها ١٠ سم (10 cm).
- ٢٠٠ الف فولت (200 KV) لفحص لوحة من الحديد سماكتها ٦ سم (6 cm).
- ٢٣٠ الف فولت (230 KV) من اجل لوحة من الشبهان (Laiton) سماكتها ٦ سم (6cm).
- من مليون الى ٢٠ مليون فولت (1000 à 20000 kv) لفحص لوحة من الفولاذ تتراوح سماكتها بين ١٠ و ٢٠ سم (10 à 20 cm).

ويحدد الباحث المسافة بين الجسم وبين مصعد انبوب الاشعة السينية حسب قيمة مساحة القسم المراد فحصه. وتجدر الاشارة الى انه كلما زادت هذه المسافة نقصت شدة الاشعة طبقا للقانون المعروف بالنسبة لاي ضوء او اي موجة. وكمثل على ذلك يمكن ان نورد الارقام التالية: فلو اعتبرنا ان تيارا يمر في انبوب الاشعة قيمته ١ ،. امبير (100 mA) يعطي على مسافة ٧٥ سم (75 cm) كثافة ضوئية معينة لوجدنا، حسب هذا القانون، انه يلزم للحصول على نفس الكثافة الضوئية على مسافة ١٥٠ سم (150 cm) تيار يساوي ٤ ،. امبير (400mA) اي ما يساوي اربعة اضعاف قيمة التيار الاول.

وتدل الدراسات على وجوب استعمال انابيب اشعة سينية ذات بقعة بؤرية متناهية الصغر وذلك من اجل تحديد اوضح لموقع الشوائب في الجسم او لقيمة سماكة اللوحة المستعملة والمراد قياس سماكتها.

٩ .١ .٢ - طريقة تسجيل الصورة

كما في التصوير الطبي يمكن في ميدان التصوير الصناعي استعمال لوحة حساسة (فيلم) او لوحة مفلورة تعطي مباشرة ظل الجسم وشوائبه. وكل ما قلنا في هذا الموضوع عند دراستنا للتصوير الطبي يصدق هنا وخاصة:

- التصوير المجسّم.
- استعمال الاجهزة الالكترونية من اجل مضاعفة تألق اللوحة المفلوره
- تفضيل استعمال الاشعة أحادية طول الموجة بهدف الحصول على وضوح افضل في تحديد أبعاد الشوائب واشكالها.
- استعمال التصوير المجهري بالاشعة.

واما اختيار الفيلم فيتم انطلاقا من نوعية الجسم المراد تصويره ومن الدقة المبتغاة في تحديد الشوائب في هذا الجسم. فحساسية الفيلم تنعكس على هذه الدقة اذ ان اي تغير في سواد الفيلم يعني تغيرا في كثافة الجسم او في سماكته ان كان متجانسا.

٩ .١ .٣ - تحديد مكان الشوائب وسماكتها

يتم تحديد مكان وجود الشوائب بتسجيل ظل الجسم على لوحة فوتوغرافية وهذا يعني ان الجزء غير الممتص من الاشعة المسلّطة على الجسم يكمل طريقه حتى يصل الى الفيلم ويؤثر عليه. ولن ندخل في تفاصيل الاشعاعات الثانوية التي يمكن ان تنطلق من الجسم عند امتصاصه لجزء من الاشعة المسلّطة بها سنكتفي بالتذكير بما قلنا عند دراستنا لامتصاص المادة للاشعة السينية حيث رأينا ان الامتصاص يتم حسب قانون اسّي.

$$I_x = I_o e^{-\mu x}$$

فلو اخذنا على الفيلم نقطتين A و B . الاولى ظل جزء من الجسم لا شائبة فيه والثانية ظل جزء من نفس الجسم يحوي مثلا تجويفا مملوءا بالهواء (او بأي غاز آخر)، ولو اهملنا قيمة امتصاص هذا الغاز للاشعة لاصبح من الممكن اعطاء شدة الاشعة كالتالي :

$$I_A = I_0 e^{-\mu x}$$
$$I_B = I_0 e^{-\mu (x-D)}$$

حيث (D) تساوي سماكة الجيب الهوائي

ومن المعادلتين السابقتين يمكن استخلاص المعادلة التي تربط شدة الاشعة عند B بالشدة عند A وبالسماكة D :

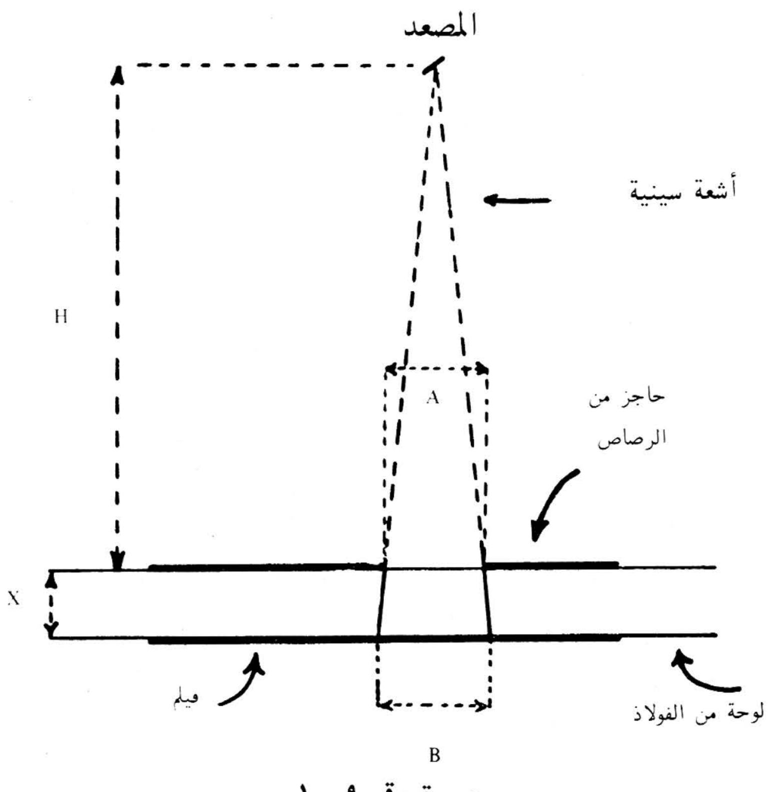
$$I_B = I_A e^{\mu D}$$

وانطلاقا من مثل هذه المعادلة يمكن حساب سماكة الجيب الهوائي . ولكن مثل هذا العمل تشوبه بعض الاخطاء العائدة لشكل الشائبة الموجودة في الجسم ولحساسية الفيلم أو اي جهاز لقياس شدة الاشعة في النقطتين الآنفتي الذكر .

واما عند استعمال اللوحة المفلورة في دراسة تجانس جسم معين فيمكن الوصول لرؤية الجيوب الغازية (او الهوائية) التي تتجاوز سماكتها ٥٪ (5%) من السماكة الاجمالية للجسم . ولكن بعض التحسينات التي ادخلت على اللوحة المفلورة وعلى اجهزة القياس ادت لنتائج اكثر دقة من تلك التي ذكرنا .

٤.١.٩ - تحديد سماكة لوحة معدنية

الطريقة التي تستعمل في هذا المجال تذكر بالمبادىء الاولى للبصريات الهندسية والتي تنطلق من مبدأ سريان الضوء بخط مستقيم . فمن هذا المبدأ انطلقت المعادلات التي تعطي حجم ظل جسم معين يقع بين منبع الضوء والشاشة ومنه انطلقت التفسيرات الاولى لخسوف القمر او كسوف الشمس .



صورة رقم ٩ ـ ١

تحديد سماكة لوحة معدنية بواسطة الأشعة

وكما تظهر الصورة ٩ ـ ١ تكفي صورة واحدة بالاشعة لتحديد سماكة لوحة معدنية. فيوضع على هذه اللوحة حاجز مسطح ورقيق من الرصاص فيه فتحة دائرية يساوي قطرها (A) ثم، بعد اخذ الصورة، يصار الى قياس ظل هذه الفتحة على الفيلم. ومن الطبيعي ان يكون الظل دائريا قيمة قطره (B) اكبر من (A).

فلو اعتبرنا ان سماكة اللوحة المعدنية تساوي X وبعد المصعد عن هذه

اللوحة يساوي H لاصبح بالامكان الكتابة (حسب نظرية المثلثات المتشابهة في الهندسة):

$$H/H+X= \frac{A}{B}$$

واخيرا

$$X= H(\frac{B}{A} -1)$$

وقياس الكميات الموجودة في هذه المعادلة والمشار اليها في الصورة رقم (٩ ـ ١) يؤدي الى معرفة قيمة سماكة اللوحة.

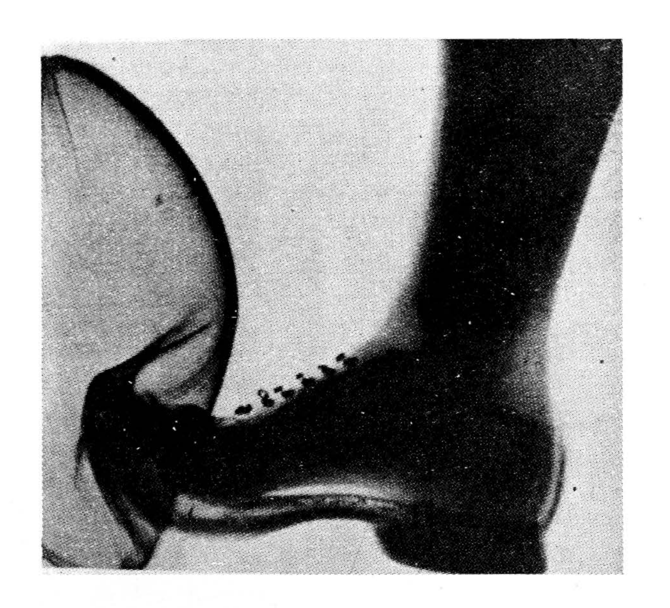
٩ .١ .٥ ـ التصوير الآني والتصوير السينمائي

استطاع الباحثون ايجاد اجهزة تعطي اشعة سينية على دفعات وتبلغ قيمة الطاقة اللازمة عند ابتعاث الاشعة حوالي ستماية الف كيلواط (600 000KW) ولكن لفترة زمنية لا تتجاوز بضعة اجزاء من مليون من الثاني.

وتسمح هذه الاجهزة بأخذ صورة لجسم متحرك بسرعة خلال جزء من مليون من الثانية. وفي الصورة ٩ ـ ٢ نبين لحظة التقاء رجل اللاعب بالكرة التى يتغير شكلها تحت تأثير قوة الدفع التي تحدثها الرجل.

وامكانية الحصول على صور بمثل هذه السرعة اضافة الى امكانية اخذ صور متتالية تجعل من الممكن اخذ صور سينمائية بالاشعة، تماما كما في التصوير الطبي، من اجل تتبع جسم يتحرك بسرعة. والصورة ٩ ـ ٣ تبين كيفية اختراق الرصاصة لقطعة خشبية.

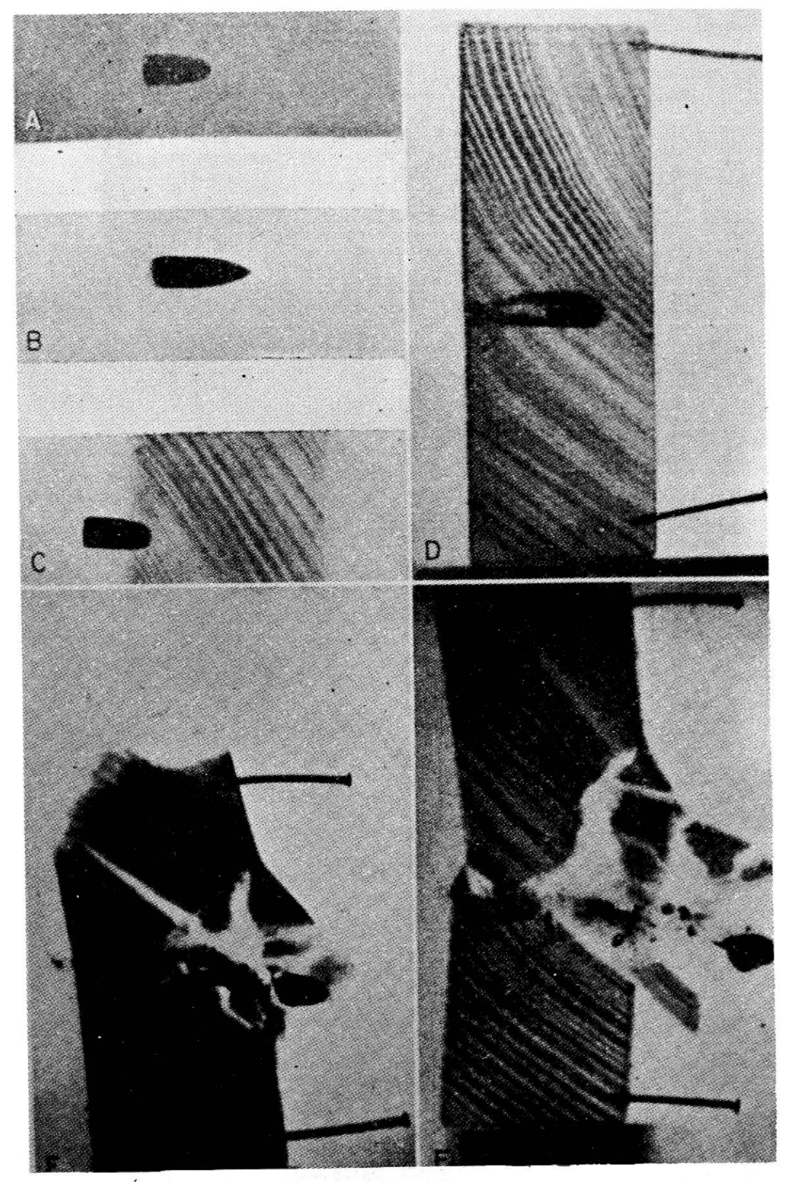
وخلال الحرب العالمية الثانية استعملت هذه الطريقة في دراسات كثيرة عن انفجار القنابل، ومسار القذائف داخل اسطوانة البندقية واختراق اللوحات المصفحة من اجل معرفة سماكة الالواح المفروض استعمالها وتركيبها للحصول على حماية افضل.



صورة رقم ٩ - ٢

وفي هذا المجال لا بد من التذكير بما قلناه سابقا حول استعمال التصوير السينمائي في دراسة احتراق المحروقات في الصواريخ. فمعرفة سرعة الاحتراق داخل الصاروخ تعطي معلومات مهمة من اجل تحديد كمية المحروقات الضرورية لايصال صاروخ معين من نقطة الى اخرى.

ويستعمل التصوير السينمائي بالاشعة السينية ايضا في مجالات اخرى كدراسة اللحام وسيلان بعض المركبات داخل الانابيب وحركة بعض الاقسام الميكانيكية غير المرئية بالعين المجردة لوجودها داخل اجزاء غير شفافة.



صورة رقم ٩ - ٣

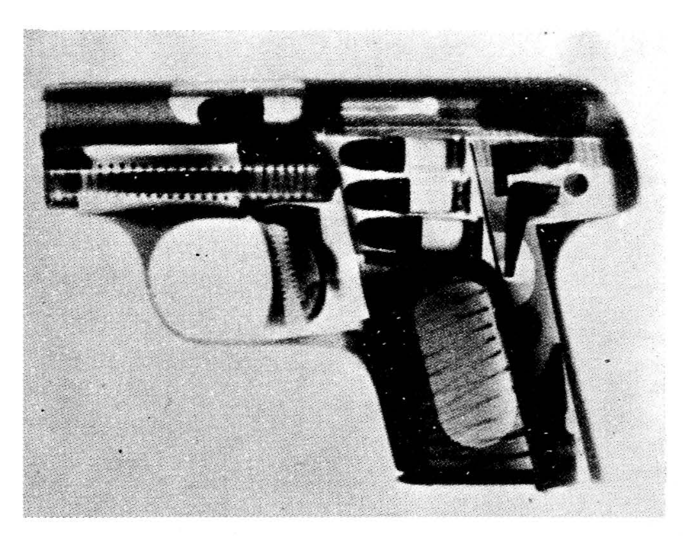
٩ .١. ٦ ـ التصوير بواسطة البتاترون

البتاترون آلة تعطي توترا عاليا يساوي ملايين الفولتات 20 à 10) (MILLIONS DE VOLTS (راجع الفصل الثاني). والاشعة السينية التي تم الحصول عليها تحت توتر مرتفع تملك طول موجة قصير جدا مما يتيح لها قدرة اكبر على اختراق المادة. فكمية الاشعة التي تمتصها المادة تنقص كلما نقص طول الموجة، ولكنها تمر بحد ادنى ثم ترتفع مجددا. وهكذا فالاشعة ذات طول الموجة المناسب للامتصاص الادنى تعتبر الاكثر اختراقا للمادة.

وقد دلت التجربة على ان الاشعة السينية التي يتم الحصول عليها تحت عشرين مليون فولت تستطيع ان تخترق خمسين سنتيمترا من الفولاذ. ومن اجل الحصول على ظل فولاذ بهذه السماكة يجب تسليط الاشعة مدة توازي ١٨ دقيقة.

ويمكن بواسطة هذه الاشعة البحث عن الشوائب او التفسخات الداخلية في مادة معينة. وامكانية رؤية هذه الشوائب لا تتحدد بالسماكة الاجمالية للجسم لان معامل الامتصاص لا يتغير كثيرا بالنسبة لمثل هذه الاشعة القاسية. وبكلام آخر يمكن تحديد مكان الشوائب سواء كان الجسم سميكا ام رقيقا شريطة الا تكون سماكة الشائبة متناهية الصغر.

والصورة ٩ ـ ٤ تبين صورة لمسدس اوتوماتيكي تم الحصول عليها بواسطة بتاترون. ويمكن ملاحظة كل دقائق تركيبه الداخلي بكثير من الوضوح بما في ذلك الخطوط اللولبية المحفورة داخل اسطوانة المسدس.



صورة رقم ٩ ـ ٤

صورة مسدس بالأشعة

٩ .١ .٧ ـ التصوير بالاشعة احادية طول الموجة

اثناء عرضنا للتصوير الطبي بالاشعة تطرقنا لهذه النقطة واوضحنا اهمية استعمال اشعة احادية طول الموجة في التصوير من اجل الحصول على صور واضحة تبين المزيد من التفاصيل. والصورة رقم (٨ ـ ٦) تبين الفرق بين التصوير بهذه الاشعة وبين التصوير باشعة متعددة طول الموجة.

وفي الصناعة يستعمل هذا التصوير من اجل البحث عن الشوائب الدقيقة في محركات الطائرات بشكل خاص. والانابيب المستعملة يمكن ان تكون تلك التي تستعمل في تجارب حيود الاشعة السينية في علم البلوريات كما يمكن ان تكون انابيب ذات تيار شديد. ومعدن المصعد يصنع من الموليبدين. ويوضع امام الانبوب مصفاة بحيث يتم عزل الاشعة ($K\alpha$) الاكثر

شدة من غيرها .

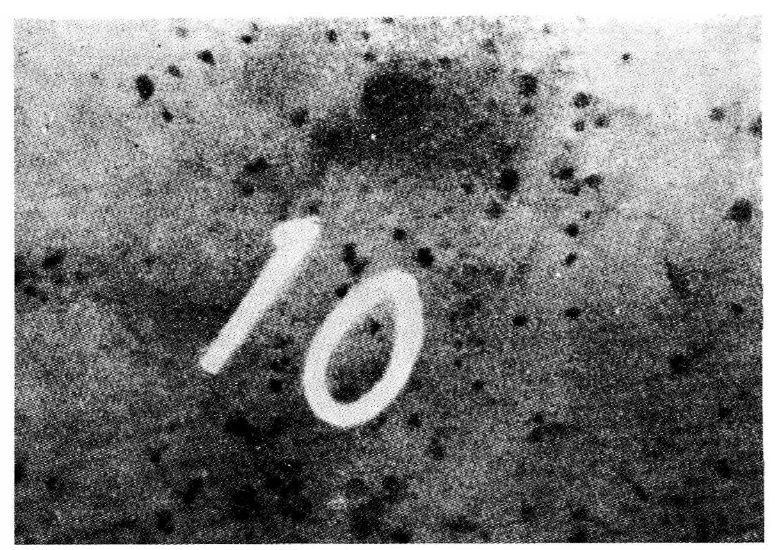
واستعمال اشعة (Kα) الخاصة بهذا المعدن يجعل من الصعب دراسة اجسام ثقيلة او مكونة من ذرات ثقيلة . ولكن بعض التحسينات يمكن ان تؤدي الى تطوير هذه الطريقة . وبالفعل يمكن عزل اشعة بواسطة بلور معين (حسب قانون براغ) يكون طول موجتها اقصر من طول موجة (K α) . وقد رأينا في الفصل الرابع كيف ان البلور يحيّد باتجاه معين الاشعة ذات طول الموجة المناسب لقانون براغ .

٩ .٢ - التطبيقات العملية للتصوير الصناعي

٩ .٢ .١ - مراقبة السبائك المعدنية :

ويعد هذا المجال من اهم استعمالات الاشعة السينية في التشخيص الصناعي . فصناعة السبائك المعدنية والخلائط الصلبة تطورت بناء لقواعد تجريبية تراكمت على مر العصور . وتصنع السبيكة عند تبريد سائل المعدن بعد اعطائه شكلا معينا . ومثل هذه الصناعة لا تعطي اي فكرة عن التركيب الداخلي للسبيكة . ولقد اثبتت الدراسات التي جرت على مختلف السبائك وجود شوائب متنوعة يمكن اظهارها بواسطة التصوير بالاشعة السينية . ونذكر من بين هذه الشوائب :

- الجيوب الغازية ، ويمكن ان تنشأ من الغازات التي تنبعث من المعدن نفسه او من الفرن الذي يستخدم في تذويبه .
- وجود بعض الرمل
- اوساخ معدنية مختلفة
- وجود اجزاء مسامية في السبيكة بسبب وجود جيوب غازية صغيرة مثلا .
- تفسخ السبيكة في بعض اجزائها .
- وجود تمايز بين ذرات المعادن المؤلفة للسبيكة . والتمايز يتجلى بوجود مناطق غير متجانسة .

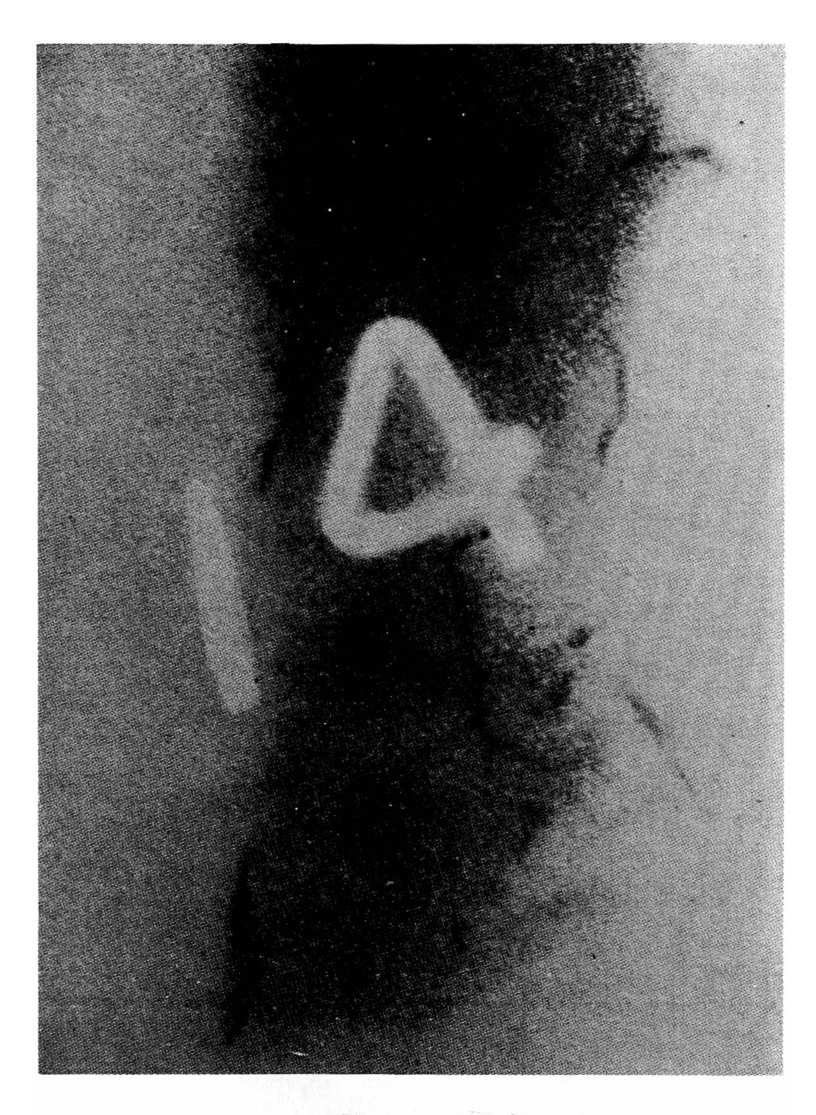


صورة رقم ٩ - ٥

شوائب في سبيكة فولاذية

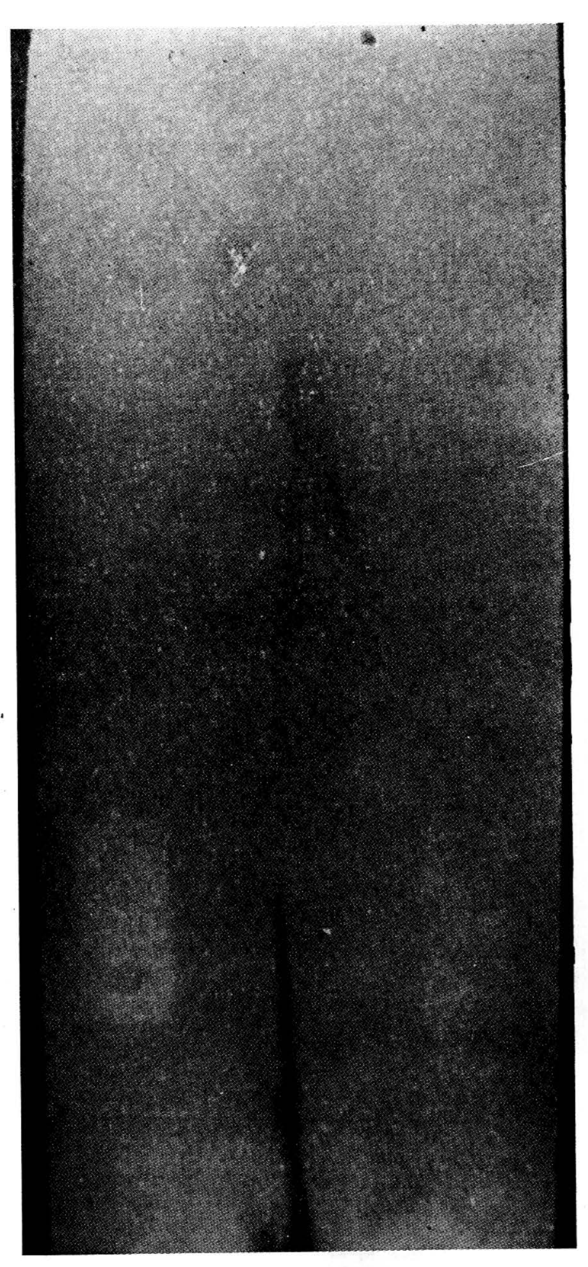
وفي الصورة (٩ - ٥) نرى الكثير من الشوائب في سبيكة فولاذية سماكتها ٣ سم. واما في الصورة ٩ - ٦ فنرى تفسّخات في سبيكة فولاذية ثانية لا تتجاوز سماكتها الاربع سنتيمترات. وتجدر الاشارة الى ان هذه التفسّخات لم تكن ظاهرة من الخارج مما يعني استحالة الظن بوجودها قبل اخذ الصورة بالاشعة السينية.

ويمكن اخذ صور لمعادن اكثر سماكة باستخدام الاشعة السينية التي يتم الحصول عليها بواسطة البتاترون. وفي الصورة (٩ - ٧) نرى تفسخا في سبيكة تبلغ سماكتها ٢٣ سم (23cm). والاشعة التي استعملت تم انتاجها تحت توتر عال يساوي عشرة ملايين فولت.

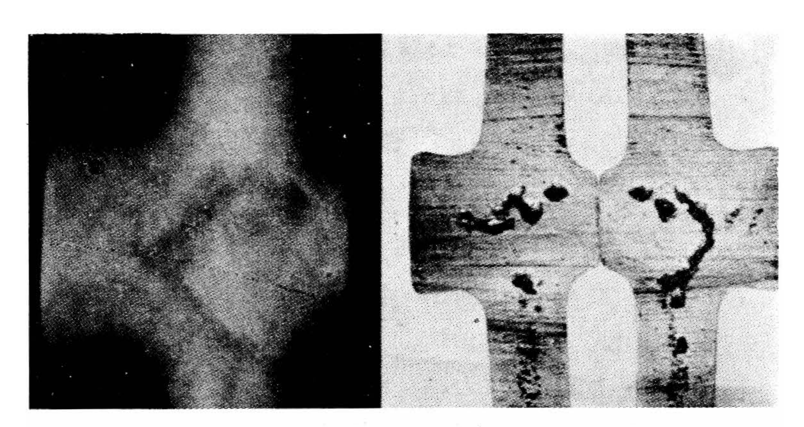


صورة ٩ ـ ٦

تفسخات في سبيكة فولاذية



صورة رقم ٩ ـ ٧
تفسخ في سبيكة
فولاذية سميكة



صورة رقم ٩ ـ ٨

شوائب في سبيكة المنيوم

واما في الصورة ٩ ـ ٨ فنرى الشوائب التي اكتشفتها الاشعة السينية في سبيكة من الالمنيوم. وقد جرى فيما بعد نشر السبيكة (قطع السبيكة) بحيث ظهرت الشوائب بالعين المجردة مما أكد نتائج التصوير بالاشعة.

٩ .٢ .٢ ـ مراقبة اللحام

ويصادف العاملون في هذا الحقل نفس المشاكل التي يواجهها عمال المسابك. فالطرق العادية لا تؤكد ما اذا كان اللحام قد حصل بشكل جيد ام انه غير متجانس في كل اجزائه. واما بواسطة الاشعة السينية فيمكن رؤية كل انواع الشوائب الممكن وجودها في اللحام. وانواع الشوائب هذه تشبه، الى حد بعيد، تلك التي يمكن ايجادها في السبائك.

ويصار الى مثل هذه المراقبة في مركبات القطارات التي تتعرض لاهتزازات كثيرة، أو لقوى شديدة كما في صناعة الجسور والسدود المائية.

٩ .٢ .٣ ـ مراقبة قطع السيارات والطائرات

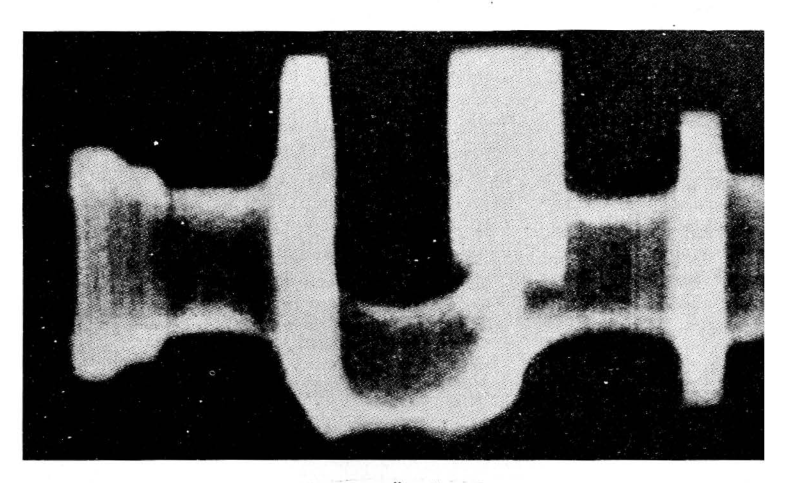
يجب التأكد عند السماح للسيارة او الطائرة بالانطلاق بسرعة هائلة من

ان كل قطعة فيهما تخلو من اي شائبة كما يجب التأكد بصورة خاصة من سلامة المحرك بجميع اجزائه. والطريقة الفضلى لمراقبة قطع المركبات هي التصوير بالاشعة السينية. فبهذه الطريقة يمكن التأكد من خلو القطع من التفسخات الداخلية او الخارجية.

وفي الطائرة لا يجوز الاكتفاء بمراقبة المحرك بل يجب مراقبة كل قطعة فيها ابتداء من اسطوانات المحرك حتى الاجنحة وكل جسم الطائرة. ومن اجل تقصي وجود شوائب صغيرة في بعض القطع الهامة بالطائرة يصار الى استعمال الاشعة أحادية طول الموجة التي توفر، كما قلنا سابقا، وضوحا اكثر في الصور.

وفي الصورة رقم ٩ ـ ٩ نرى صورة بالاشعة السينية لقطعة من قطع السيارة اسمها المدوّر. وتشير هذه الصورة الى وجود شوائب هامة (المنطقة المعتمة من الصورة) لم تكن رؤيتها ممكنة من الخارج وبالعين المجردة.

وفي خلو السيارة او الطائرة من الشوائب ضمان لحياة الانسان. فاذا



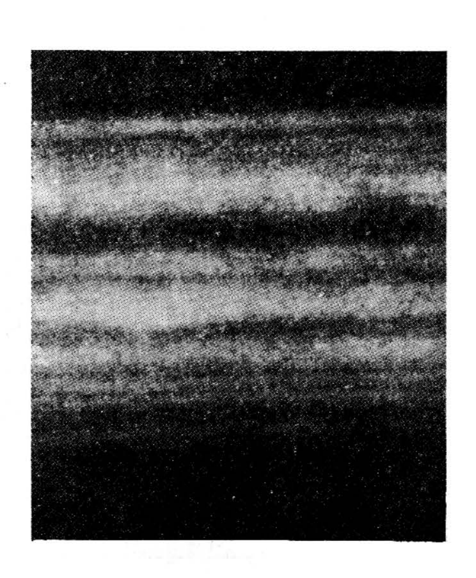
صورة رقم ٩ ـ ٩

صورة بالأشعة لمدوّر السياره

كانت هذه الحياة تعتمد على حسن مراقبة القطع المعدنية المؤلفة لهذه الآلات كان من الاجرام عدم استعمال الاشعة السينية في مراقبة كل قطعة قبل تركيبها في السيارة وخاصة في الطائرة.

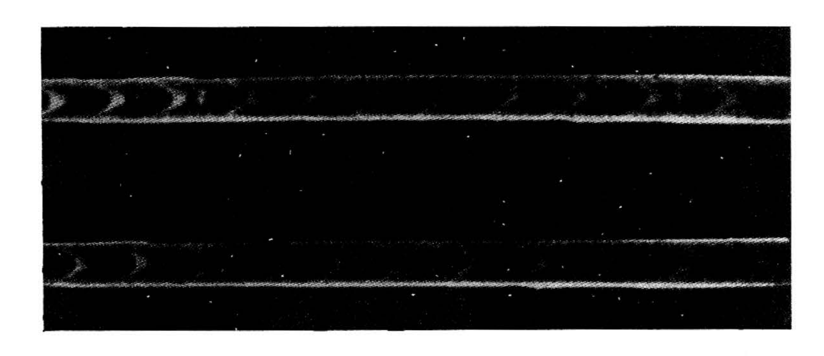
٩.٢.٤ - مراقبة المعادن المصفحة والمشدودة

يلجأ كثير من الصناعيين لاستعمال صفائح معدنية اي سبائك رقيقة. ويتم الحصول على هذه الصفائح بطرق مختلفة تدخل بعض الشوائب والتفسخات في تركيبها هذا اذا لم يكن في السبيكة نفسها اوساخ وشوائب معدنية قبل تصفيحها. وفي الصورة رقم (٩ - ١٠) نرى اوساخاً معدنية



صورة رقم ٩ - ١٠

شوائب في سبيكة رقيقة



صورة رقم ٩ ـ ١١

صورة لقضيبين مشدودين

وشوائب لم تكن مرئية بالعين المجردة.

وقد دلت التجارب الميكانيكية التي اجريت فيما بعد على هذه الصفيحة أنها سريعة العطب في الاماكن التي اشارت الاشعة السينية الى وجود شوائب فيها.

واما في الصورة رقم (٩ ـ ١١) فنرى آثار الشد الطولي لقضيبين من الالمنيوم. ونتيجة التشخيص بالاشعة السينية تقضي، في هذه الحالة، بعدم استعمال هذه القطع بينما لا يستطيع اي فحص بالعين المجردة او بواسطة المجهر ان يرى ما فعل الشد الطولي بالتركيب الداخلي لقضيبي الالمنيوم مما لا يستبعد امكان استعمالها دون أي توجس من الاخطار التي قد يسببها هذا الاستعمال.

٩ .٣ ـ تطبيقات اخرى لتصوير المعادن بالاشعة السينية

من بين التطبيقات العديدة لتصوير المعادن بالاشعة السينية يمكن ان نورد ما يلي:

- مراقبة الاسلاك المعدنية

- مراقبة المعادن المغلفة بمواد بلاستيكية بحثا عن اي تفسخ فيها
- تصوير الانابيب والانابيب الشعيرية من اجل التيقن من عدم وجود اوساخ او ترسبات تغلّفها كليا او جزئيا.
- تصوير بعض الآلات المعقدة من اجل معرفة ما اذا كانت كل القطع في مكانها المناسب.
- فحص اسطوانة البندقية او المدفع بحثا عن اي شائبة.
- دراسة المعادن في الافران من اجل تحديد سليم لدرجة ذوبانها.
- فحص العوازل الكهربائية بحثا عن حبيبات معدنية قد تكون موجودة فيها مما يضعف قدرتها على العزل.
- مراقبة الذخائر الحربية والقنابل لمعرفة درجة امتلائها بالمواد المتفجرة.
- مراقبة حقائب المسافرين بحثا عن اسلحة او قنابل.

وتجدر الاشارة الى إمكان استعمال التصوير المجهري بالاشعة السينية من اجل الحصول على صور اوضح لبعض دقائق الجسم المراد فحصه.

والتصوير بالاشعة السينية لا ينحصر مطلقا بتصوير المعادن ومركباتها بل يتعداها لتصوير كل المواد. فالتصوير يعتمد على مبدأ امتصاص المادة لهذه الاشعة. فاي تغير في تجانس المادة او اي ابتعاد عن تركيبه العام يؤدي الى تغير في امتصاص الاشعة مما يغير سواد الظل على اللوحة الحساسة.

ويمكن بهذه الطريقة مراقبة الأخشاب للتأكد من خلوها من المسامير وبحثا عن اي تفسخ او تسوس في داخلها قد يضعف صلابتها. كما يمكن فحص المركبات المطاطية لمعرفة درجة تجانسها وعدم احتوائها على قطع معدنية.

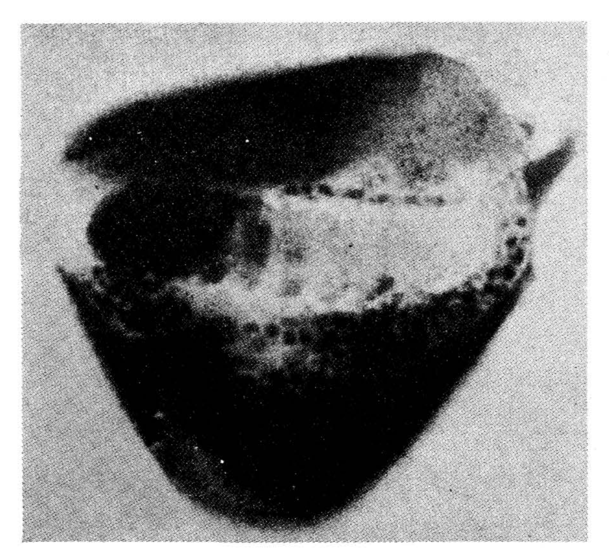
الفصل العاشر:
تطبيقات أخرى

رأينا في الفصول السابقة كيف استطاعت الاشعة السينية ان تؤدي كثيراً من الخدمات في كثير من ميادين النشاط الانساني : دخلت مختبرات الفيزيائيين والكيميائيين والبيولوجيين وعيادات الاطباء واطباء الاسنان والمصانع الثقيلة . وكلما تقدمت التقنية وتطورت زادت حاجة الباحثين اليها . ولكن هذا لا يعني ان أوجه استعمال الاشعة السينية تنحصر في الميادين التي ذكرناها سابقا بل تتعداها الى ميادين اخرى قد يصعب حصرها .

ولن نتكلم في هذا الفصل على كل الاوجه المتبقية لاستعمال الاشعة السينية بل سنقدم بعض الامثلة حول ما يمكن ان تؤدي من خدمات في مجالات الزراعة والجيولوجيا وفن الرسم .

١٠.١ ـ الاشعة السينية والزراعة

عند تطرقنا لدراسة تأثيرات الاشعة السينية على الخلايا الحية رأينا كيف يمكن لهذه الاشعة ان تغيّر بعض خصائص النباتات والمزروعات . ولم يكن ذلك مفاجأة لدارسي علم النبات إذ يعرف الجميع مقدار أهمية الاشعة فوق البنفسجية بالنسبة لحياة النباتات ونموها . وتلتقي الاشعة السينية مع غيرها من الاشعاعات النووية واشعة لازر (Laser) في التأثير على نمو النبات وتغيير بعض خصائصها .



صورة رقم ١٠ ـ ١

حبة قمح وبداخلها دوده

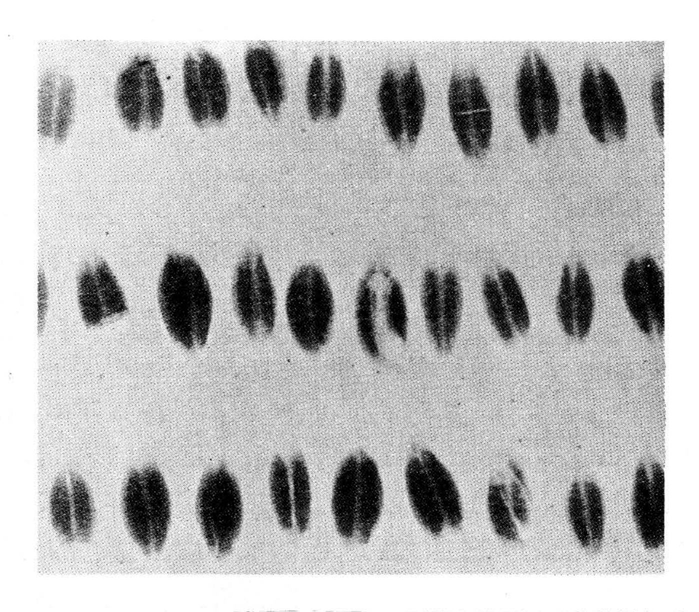
وبالرغم من ان الابحاث في هذا المجال متوالية فإنها ما زالت في كثير من الحالات مجتزأة وتفتقد الى رؤية شاملة للموضوع. والنتائج التي تم الوصول اليها مشجعة جدا. وقد اوردنا سابقا كيف ساهمت الاشعة السينية في ايجاد نوع من الفطر يعطي كمية اكبر من البنسلين، وكيف تم الحصول على بعض الزهور التي لا تذبل بنفس سرعة ذبول الازهار الطبيعية.

اضافة الى هذا المجال في استعمال الاشعة السينية، أمكن استعمالها في الزراعة في مجالات اخرى كالتيقن من جودة المحاصيل الزراعية ومراقبتها، ومحاربة الحشرات الضارة كالذباب والبعوض.

١٠.١.١ ـ مراقبة المحاصيل الزراعية

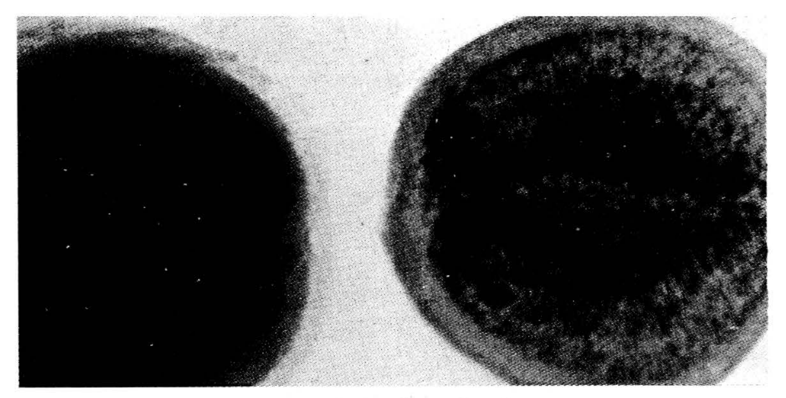
تلجأ الدول والافراد لتخزين الحبوب تحسّبا لاي طارىء. وكثيرا ما تكون هذه الحبوب عرضة للتسوس ولبعض الحشرات والديدان. وللتأكد

نخن سلامة القمح مثلا قبل ارساله الى المطاحن يعمد المسؤولون لتصوير مئات الحبوب بالاشعة السينية وتكبيرها بحثا عن اي اصابة. ويذكر ان مصنعا للبيرة في الولايات المتحدة الاميركية قد غرّم من قبل السلطات المختصة لاستعماله حبوبا مصابة بالتسوس كشفتها الاشعة السينية. وفي الصورة رقم (١٠ ـ ١) نرى صورة مكبرة لحبة من القمح بداخلها دودة. واما في الصورة رقم (١٠ ـ ٢) فنجد حبوبا من الشعير أصيب بعضها بالآفة نفسها. وهاتان الصورتان اخذتا بطريقة شبه مجهرية.



صورة رقم ١٠ ـ ٢

حبوب شعير يحتوي بعضها على ديدان



صورة ١٠ ـ ٣

مراقبة الليمون بواسطة الأشعة السينية:

- الصورة الأكثر سواداً تشير الى ليمونة كثيرة العصير
- الصورة الثانية تشير إلى ليمونة أقل امتلاء بالعصير.

ومن الممكن اجراء نفس المراقبة بواسطة الفلورة. وهذا ما يسمح بمراقبة آلاف الحبوب خلال فترة زمنية قصيرة والحصول على نتائج اكثر شمولية من التصوير.

وتستعمل الفلورة ايضا في مراقبة الفواكه وخاصة في تقصي نوعية الليمون لمعرفة درجة احتوائه على العصير. وكمثل على ذلك نورد الصورة رقم (١٠ ـ ٣) التي تبين نوعين من الليمون: الاكثر سوادا تمثل ليمونة كثيرة العصير والثانية تمثل ليمونة شبه ناشفة. وهكذا بمجرد مرور الليمون المعد للتوضيب على لوحة متحركة امام الاشعة السينية يستطيع المراقب ان يختار الليمون الذي تنطبق عليه المواصفات المطلوبة واستعمال المتبقي منه في مجال آخر.

١٠.١.٢ ـ مكافحة الحشرات والذباب

تتعرض المزروعات من خضار وفواكه واشجار للكثير من الآفات

والحشرات مما يحتم على المزارع اللجوء الى اساليب شتى من اجل مكافحة هذه الحشرات . والاهمال يؤدي حتما الى قلة المحصول الزراعي واتلافه .

وتزايد السكان المطرد يضع العالم امام مسؤوليات ضخمة ابسطها تأمين الغذاء لجميع السكان . ويمكن الوصول الى هذه النتيجة بزيادة المساحة المزروعة وتحسين انواع المزروعات ومحاربة الامراض والآفات التي تفتك بالمزروعات . وتدل الاحصاءات التي اجراها بعض العلماء على ان ما يعادل خمس المحصول الزراعي يتلف قبل جنيه وفي المخزن .

ولن نتطرق هنا الا لموضوع مكافحة الحشرات . وهذه المكافحة تتم بوسائل شتى نذكر منها :

- المكافحة بالمبيدات الزراعية مع ما يرافق ذلك من تلوث في البيئة وتولد للمقاومة عند الحشرات ضد المبيدات والقضاء على الاعداء الطبيعيين للحشرة .
- المكافحة بالاعداء الحيوية اي باستخدام الطفيليات والمفترسات والمسببات المرضية للحد من الكثافة السكانية للآفة .
- المكافحة بالطرق الزراعية اي باستعمال المحاصيل المقاومة للحشرة .
- المكافحة ببعض الطرق الحديثة اي باستعمال الاشعاعات في تعقيم الحشرات وسنحصر عرضنا في هذه الطرق فقط .

اثبت رنر (Runner) في العام ١٩١٦ (1916) قدرة الاشعة السينية على تعقيم خنفساء السجاير وفي العام ١٩٢٧ (1927) لاحظ عالم آخر هو مولر (Muller) ان انثى ذبابة الخل (Drosophila) تبيض بيضاً غير مخصّب إذا تزاوجت مع ذكر من نفس النوع تعرض للاشعة السينية .

بعد هذه الملاحظات ، التي تكررت على يد علماء آخرين ، بدأ التفكير باستعمال الاشعة في مكافحة الحشرات . والفكرة تقضي بتعقيم اعداد كبيرة من ذكور الحشرة المراد مكافحتها ثم اطلاقها في المنطقة التي تتكاثر فيها الحشرة . وبعد تزاوج هذه الذكور مع الاناث تقل اعداد الحشرات المولودة .

وقد استعملت هذه الطريقة لاول مرة عام ١٩٥٥ (1955) في محاربة ذباب الماشية (Cochliomyia hominivorax) المنتشرة في جزيرة كاراكاو. والاشعة المستعملة كانت اشعة غما الصادرة من الكوبلت ٦٠ (Cobalt 60: ^{60}Co). وقد تم اطلاق ٧٠ الف (70000) ذكر عقيم من هذه الذبابة اسبوعيا وذلك خلال ستة شهور. وكانت المكافحة ناجحة اذ تم القضاء على الذبابة وابادتها.

وبعد ذلك استعملت هذه الطريقة في مكافحة نفس الحشرة في فلوريدا وفي مكافحة انواع اخرى من ذباب الثمار نذكر منها:

- ذبابة الفواكه الشرقية (Dacus dorsalis).
- ذبابة الفواكه المكسيكية (Anestrepha ludens)
- ذبابة البحر المتوسط (Ceratilus capitata)

وبالرغم من سهولة النظرية التي تقضي بتعريض الذكور للاشعة فان مشاكل كثيرة واجهت العاملين في هذا الحقل. واختيار جرعة الاشعة المناسبة هو الذي يؤدي الى النتيجة المرجوة. فليس الهدف الحصول على ذكر عقيم فقط بل على ذكر عقيم وقادر على مزاحمة بقية الذكور الطبيعيين على التزاوج مع الاناث. والذكر العقيم الخامل جنسيا لا يعطي اي نتيجة في محاربة الحشرة التي ينتمي اليها.

ومن اجل المحافظة على حسن صحة الذكر العقيم وقدرته على التزاوج يلجأ الباحثون الى اعطاء الجرعة على دفعات. وقد اثبتت هذه الطريقة فاعليتها في محاربة ذبابة البحر المتوسط. وتجدر الاشارة الى ان الاشعة تسلط في بعض الحالات على الحشرة في ايامها الاولى أو قبل ولادتها بيومين او ثلاثة ايام.

وهناك بعض الشروط الاساسية لانجاح هذه الطريقة نذكر منها:

- ايجاد طريقة اقتصادية لانتاج اعداد هائلة من ذكور الآفة حتى يبقى

مردود المكافحة بهذه الطريقة مرتفعا.

- عدم احداث مضاعفات فيزيولوجية في ذكر الحشرة تؤثر في سلوكه كأن يعزف عن التزاوج مع الاناث او يقصر عمره فيموت قبل ان يقوم بمهمته التي تقضي بأبعاد الذكور الطبيعيين عن الاناث قدر المستطاع.
- حسن اختيار الجرعة حتى لا يحدث عند الذكر عقم مؤقت يزول بعد مرور ايام معدودات.

وعند التمكن من تأمين هذه الشروط يصبح في يد الانسانية وسيلة ناجحة، قليلة الثمن ونظيفة تقضي على الحشرات دون احداث اي ضرر بالبيئة او بالحشرات والطيور المفيدة.

٢.١٠ - تصوير التحف الفنية واللوحات القديمة

كان من اكثر الاستعمالات اثارة استعمال الاشعة السينية في ميدان النقد الفني الهادف للتعرف على اساليب الفنيين وبالتالي التمييز بين اللوحات الحقيقية واللوحات المزيفة. ومن التطبيقات المعروفة للاشعة السينية حاليا تصوير اللوحات القديمة والتحف الفنية. ويذكر ان دعاوى كثيرة وصلت للقضاء حلت باستعمال الاشعة السينية اذ من المعروف ان الالوان المستعملة في اللوحات القديمة تحتوي على كثير من المركبات المعدنية التي تمتص الاشعة السينية. واما الألوان المستعملة في اللوحات الحديثة فهي مركبات عضوية تمتص الاشعة السينية بكميات اقل من تلك التي تمتصها المواد المعدنية.

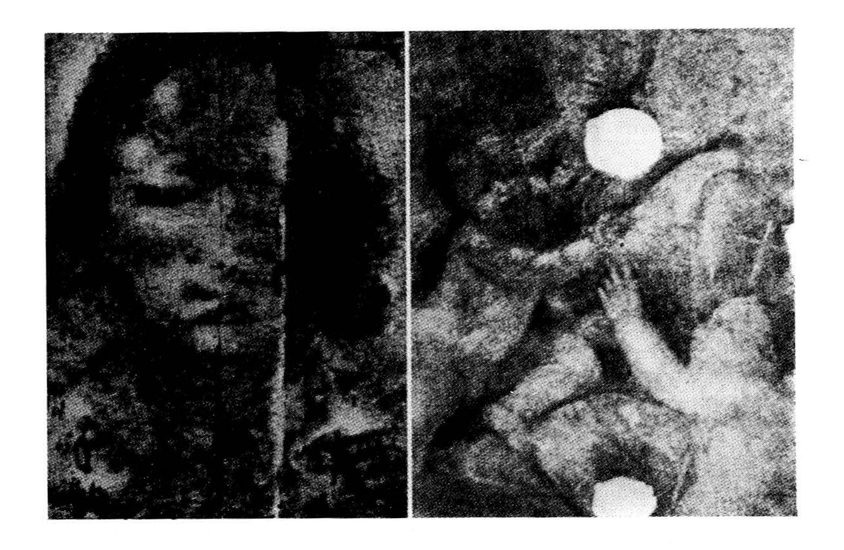
ويوجد حاليا في اكثر المتاحف العالمية اجهزة اشعة سينية متخصصة بتصوير اللوحات ودراستها. ومنذ العام ١٩٢٧ (1927) بدأ الباحثون باستعمال هذه الطريقة العلمية في عمليات الدراسات الفنية للوحات القديمة اذ نشربوروغس(Burroughs) مقالا عن احدى لوحات فرونيز (veronèse)

المعروفة والمسماة « المريخ وفينوس » (Mars et Venus) . والدراسة تركزت على جزء من اللوحة وبالذات حول رأس فينوس اذ دلت صورة الاشعة السينية (radiographie) على وجود رأس ثان غير ظاهر في اللوحة يقع على يمين رأس فينوس (انظر الصورة رقم ١٠ ـ ٤). ومن المعتقد ان فرونيز نفسه قد غطى هذا الرأس بالالوان لاسباب مجهولة.



صورة رقم ١٠ ـ ٤

رأس فينوس في لوحة فرونيز ويبدو الرأس المخبّأ على اليمين.



صورة ١٠ ـ ٥

إلى اليسار : لوحة (La Madone de la Tour) التي رسمها تلامذة رافاييل .
إلى اليمين : لوحة (La Madone Carvach) التي رسمها رافاييل نفسه .
والاثنتان تحملان توقيعه .

واما في الصورة رقم (١٠ ـ ٥) فنجد صورتين بالاشعة للوحتين مشهورتين موقعتين باسم رافاييل (Raphaêl) : لوحة (La Madone de la Tour) ولوحة (La Madone Carvach) وقد دلت الدراسات بواسطة الاشعة السينية (صورة رقم ١٠ ـ ٥) على انه من الممكن ان تكون الالوان المستعملة في اللوحة الاولى (صورتها الى اليسار) قد مزجها رافاييل نفسه ولكن من المؤكد تقريبا ان رسمها قد تم على يد تلامذته . واما الصورة الثانية (الى اليمين) فقد حققها رافاييل كاملة . وهذا ما اكد ظن خبراء متحف (National Art Gallery) في لندن الذين اعتقدوا بأن اللوحة الاولى ، بالرغم من جمالها ، لا يمكن ان تكون ، من الناحية التقنية الفنية ، من صنع رافاييل .

ولقد تم تصوير اللوحة الاكثر شعبية في الولايات المتحدة وهي لوحة الولد الازرق (L'enfant bleu) التي رسمها الفنان غنسبوروغ (Gainsborough) والموجودة في متحف (Huntington Art Museum) في كاليفورنيا. ولقد دلت الصورة بالاشعة السينية على تفاصيل مذهلة (انظر الصورة رقم ١٠ ـ ٦). اذ تبين ان الفنان رسم لوحته المشهورة هذه فوق لوحة قديمة بعد ان غطاها بالالوان. وتظهر الاشعة السينية بعض اجزاء اللوحة القديمة (اعلى الجهة اليسرى) وهي عبارة عن ربطة عنق بيضاء كانت حول عنق رجل عجوز.





صورة رقم ١٠ ـ ٦

لوحة الولد الازرق لغنسبورغ
إلى اليسار: صورة عادية
إلى اليمين: صورة بالأشعة السينية

ولقد اظهر التصوير بالاشعة السينية ان الكثير من لوحات رامبرانت (Rambrandt) وغيره من الفنانين قد رسمت فوق لوحات قديمة. والصورة رقم ١٠ ـ ٧ تبين لوحة رسمها هايلي (Healy) لاول كاردينال اميركي (Mc




صورة رقم ١٠ ـ ٧

لوحة الكاردينال ماكلوسكي التي رسمها هيلي
إلى اليسار: صورة عادية
إلى اليمين: صورة بالأشعة السينية

Closky) . والتصوير بالاشعة السينية اظهر رأسا وميدالية مثبتة على عنقه لا يظهران على اللوحة او على صورة عادية لهذه اللوحة (الصورة الموجودة على اليسار).

وتستعمل الاشعة السينية في كثير من دراسات الناقدين الفنيين. وقد قامت مؤخرا الباحثة الفرنسية مادلين هورس بدراسة على لوحات الاخوة لونان (Lenain) الذين عاشوا في القرن السابع عشر في فرنسا وكانوا من اكبر الفنانين الواقعيين. وقد اقيم لهم معرض في باريس استمر من شهر تشرين الاول (اوكتوبر) ١٩٧٨ (1978) حتى شهر كانون الثاني (يناير) ١٩٧٩ (1979).

وقد اجرت مادلين هورس دراستها بواسطة التصوير والتصوير شبه

المجهري بالاشعة السينية حيث لمست وجود ثلاث تقنيات مختلفة في الرسم مما يعني اشتراك الاخوة لونان الثلاثة (انطوان ولويس وماتيو) في تحقيق اللوحة.

وقد تساءل المهتمون بفن لونان عن إمكان معرفة دور كل واحد من الثلاثة في عملية انجاز اللوحة؟

الحقيقة الاولى التي قدمتها الاشعة السينية هي ان الاخوة لونان كانوا يستعملون نفس طريقة مزج الالوان وتحضيرها، أو أن احدهم كان يحضر الألوان للجميع. واما بالنسبة لتحديد دور كل واحد منهم في عملية الرسم فقد تم تأليف فريق كبير يضم فيزيائيين وكيميائيين ومؤرخين وفنانين، مهمته القيام بدراسة وافية لكل اعمال الاخوة لونان. وقد ظهرت نتائج الدراسات التي تمت، بواسطة الاشعة السينية، على اللوحات الموجودة في فرنسا.

ويقول التقرير الفرنسي ان انطوان (وهو اوسطهم) كـــــان يرسم الاشخاص بشكل متسرع وغير متقن ولويس (وهو اكبرهم) كان الذي يضع في اللوحة نفحة شاعرية اذ انه كان يرسم المناظر الطبيعية. واصغرهم ماتيو كان يضع اللمسات الاخيرة على مجمل اللوحة مضيفا اليها نفحة بورجوازية انيقة.

وبعد وفاة الاخوين انطوان ولويس في العام ١٦٤٨ (1648) بقي ماتيو وحيدا حتى وفاته عام ١٦٧٧ (1677). وقد استمر ماتيو بالرسم مع انه لم يعلن ذلك. فقد وجد في منزله بعد وفاته حوالي مئتا لوحة موقعة باسم لونان اي بنفس التوقيع الذي كان يستعمله الاخوة الثلاثة. ولكن التصوير بالاشعة السينية اظهر انه كان قد كتب اسمه الاول على اللوحات التي انجزها بعد وفاة شقيقيه. ولكن يبدو انه غير رأيه فيما بعد فغطى اسمه بالالوان ثم وقع فوقها باسم لونان. ولم يكن بالامكان، دون التصوير بالاشعة السينية، التوصل الى هذه النتيجة المهمة اذ انها باكتشاف اسم

ماتيو تحت الالوان ، ساعدت في عملية التمييز بين اللوحات التي رسمها الاخوة الثلاثة وتلك التي رسمها ماتيو منفردا .

ولن نسترسل في اعطاء المزيد عن الحالات التي استعملت فيها الاشعة السينية في ميدان الدراسات النقدية لبعض اللوحات الفنية . وفي الامثلة التي ذكرنا خير دليل على امكانية التوسع في استعمال هذه الاشعة ، هذه العين المتناهية الصغر ، في عملية فحص دقيق لمجمل التراث الفني الانساني . فمن مثل هذه الدراسة يمكن استخلاص معلومات مهمة عن طريقة عمل كل فنان وعن تطور تقنية الرسم عبر السنين .

۳.۱۰ ـ الاشعة السينية وعلم الجيولوجيا

لجأ الجيولوجيون في العشرين سنة الاخيرة الى استعمال تقنيات جديدة تساعدهم على حل المشاكل العديدة التي تواجه ابحاثهم . وقد صدر خلال هذه الحقبة عدة كتب تتكلم على الطرق التحليلية الجديدة الممكن استعمالها في ميدان الجيولوجيا والجيوكيمياء .

والحصول على المعلومات الكيميائية ، كمّاً ونوعا ، المتعلقة بالمواد العديدة التي يدرسها الجيولوجيون افضل طريقة لدراسة الترسبات والعوامل الجيولوجية وتركيب الصخور .. الى ما هنالك من مواضيع . وكان من البديهي اللجوء الى الاشعة السينية واستعمال خصائصها العديدة والتقنيات المرتبطة بها من اجل الحصول على هذه المعلومات الكيميائية . وذلك لان الاشعة السينية ، كما قلنا سابقا ، لا تؤثر في الصخور بل تحافظ على تركيبها الكيميائي والبلوري .

والى جانب معرفة التركيب الكيميائي يحاول الباحثون معرفة درجة تجانس المادة التي يدرسون وامكان قسمتها ، في حال عدم تجانسها ، الى مناطق متجانسة . وقد زادت تقنية التحليل المجهري للمواد امكانية الحصول على مثل هذه المعلومات .

والطرق المستعملة في الجيولوجيا تتحدد بالنسبة للهدف المراد الوصول اليه وهي تتراوح بين تجارب الحيود وبين الفلورة وتحليل طيف الاشعة السينيـة المنبعـث من المـادة المراد تحليلهـا . وتتم دراسة النتـائـج بنفس الاساليب التي شرحناها في الفصول السابقة ، وبشكل خاص عند تطرقنا لدور الاشعة السينية في الكيمياء .

وتجدر الاشارة الى السهولة التي يصادفها الباحثون في التحليل النوعي نظرا لبساطة الاجهزة المستعملة : يتم وضع العينة في كبسولة خاصة ثم يسلط عليها حزمة من الاشعة السينية . فإذا كانت المادة بلورية او اذا كان العنصر الموجود فيها بلوريا تمت الدراسة بواسطة الحيود . وان كانت المادة غير بلورية اصبح من الضروري ان يصار لتحليل حزمة الاشعة السينية المنبعثة من المادة بعد امتصاصها لجزء من الاشعة السينية المسلطة عليها .

وليس من الممكن في الحالين معرفة وجود عنصر معين في المادة الا اذا كان موجوداً بكميات اكبر من حد ادنى معيّن . وهذا الحد الادنى يتغير بتغير حساسية اجهزة القياس المستعملة من ناحية وتغير معامل الامتصاص الذري من عنصر الى عنصر آخر .

وقد استعملت الاشعة السينية في كثير من الابحاث الجيولوجية كالبحث عن الاورانيوم وعن المعادن الاخرى . ودرست عينات من الطين المصري الاسود في مناطق كثيرة من اجل معرفة خصائصها المعدنية ، الكيمياوية والفيزيائية والبتروغرافية . وقد وجد ان حبيبات هذا الطين تتراوح بين الطمي الدقيق والطفل . واظهرت تجارب حيود الاشعة السينية ، اضافة الى التحليل الحراري التفاضلي ، ان هذا الطين يحتوي ، وبنسب متفاوتة ، على المركبات التالية : الكاولينيت (Kaolinite) والايليت (Illite) والمرو والانيهيدريت (Anhydrite) والكربونات .

وفي وسع باحثي الجيولوجيا بشكل عام ان يستعملوا كل طرق التحليل الكيميائي ، بما فيها طرق الاشعة السينية ، من اجل تحديد كل العناصر

الموجودة في مادة اولية معينة. والفارق بين الكيميائيين والجيولوجيين يعود الى كيفية تحضير العينات الضرورية للدراسة.

خـــاتمــة

منذ اليوم الاول لاكتشاف اشعة السينية والانسان يحاول الاستفادة منها في شتى مجالات عمله. استعملها في الصناعة والطب والهندسة والصيدلة والفيزياء والكيمياء والزراعة والفن. ولكن الخدمات التي ادتها هذه الاشعة في ميدان الطب تبقى الاهم والاجدى لانها ساهمت مساهمة فعالة في تشخيص بعض الامراض وفي معالجة بعضها الآخر.

وامام كل اكتشاف علمي جديد يحاول الباحثون الاستفادة التامة من كل ما تجلّى لهم من خصائص هذا الاكتشاف. فكلنا يذكر انه بعد أقل من خمسين سنة على اكتشاف النظائر المشعة تم تفجير القنابل الذرية في اليابان التي سبّبت للانسان المسالم كثيراً من الآلام حتى يومنا هذا.

وبعد اكتشاف الاشعة السينية وقدرتها على اختراق بعض الاجسام الصلبة بدأ الاطباء باستعمالها حتى أصبحت في يومنا هذا ضرورة أولية لكل مستشفى. وكثيرون هم الاطباء الذين يشخصون بعض الامراض بواسطة التصوير او بواسطة لوحة مفلورة دون اعارة الانتباه الى ما يمكن أن تسببه الأشعة السينية في الخلايا الحية.

وقد بدأ كثير من المهتمين بهذا الموضوع اليوم بالاعتقاد بأن القليل من الاشعة السينية اذا ما استعملت اعتباطيا، قد يؤدي الى مضاعفات خطيرة. فالاشعة السينية خطرة بالنسبة للجزء المعرض لها من جسم الانسان ولكنها اخطر بكثير على الجلد وعلى النخاع الشوكي وعلى الغدد

الجنسية. وليس من الضرورة ان تسلط الاشعة على الغدد الجنسية لتشكيل الخطر غليها اذ ان كل صورة بالاشعة تؤخذ لاي عضو في الجسم تؤثر بشكل غير مباشر على الغدد الجنسية، اي على الغدد التي تصنع الخلايات الجنسية المسؤولة عن عملية التوالد عند الانسان.

والخطر يتضاعف مرات كثيرة عند استعمال اللوحة المفلورة اي الراديوسكوبي. فالحصول على صورة بالاشعة السينية يستغرق ثلاثة اجزاء من مئة من الثانية. اما التشخيص بواسطة اللوحة المفلورة فيحتاج تقريبا الى ثلاثين ثانية أي ألف مرة اكثر من الصورة. وهذا ما يدفع بعض الاطباء للدعوة الى الغاء هذه الوسيلة في التشخيص الطبي لانها قد تؤدي الى مآس خاصة ولأن أثر التعرض للاشعة السينية قد لا يظهر الا في أولاد المريض او احفاده. فان استمر الاطباء في تسليط الاشعة السينية على الآباء ومن ثم على الاولاد وعلى اولاد الاولاد فستحدث على مر الاجيال بعض التغيرات في اشكال واطباع بعض الاولاد. وهذا ما يجب تلافيه.

ويكفي النظر الى الصورة (خ - ١) لرؤية التغيرات التي طرأت على شكل حفيد فأر تعرض لجرعة من الاشعة السينية ولم تسبب له العقم.

ومن ناحية ثانية يعمد بعض الجراحين الى استعمال لوحة مفلورة من اجل وضع عضو معين من جسم الانسان في مكانه بدقة. هذه الطريقة في العمل ستؤثر مع مرور الوقت على الطبيب الجراح نفسه، وقبل كل شيء على المريض، فتحدث له بعض الالتهابات الجلدية او الداخلية.

ان الاشارة الصريحة الى هذا الخطر المحدق بالانسان من جراء الاسراف باستعمال الاشعة السينية في تشخيص الامراض تبغي قبل كل شيء الدعوة الى الاستغناء عن الراديوسكوبي وعن التصوير بالاشعة السينية الا في حالات الضرورة.

ومن الطبيعي القول بأن العاملين في حقل الاشعة السينية، سواء في الصناعة أو في الفيزياء والكيمياء، هم عرضة لهذا الخطر، مما يحتم أخذ



صورة خ ـ ١

جنين حفيد فأرٍ تعرّض للأشعة السينية

وفي أعلى اليسار جنين طبيعي

الاحتياطات اللازمة اثناء العمل والقيام بمراقبة صحية دائمة لهم كالقيام بتحليل الدم مرتين في السنة مثلا.

وليس من الضرورة ان يكون هذا الخطر حافزا لبعض الباحثين الشباب على عدم الاقتراب من كل ما له علاقة بالاشعة السينية. فتقدم العلم، اي علم، رهن باندفاع المهتمين به.

المراجع

1- Les Applications des rayons X
J.J. TRILLAT
Les presses Universitaires de France Paris. (1930).

2- X Ray Emission spectrography in Geology
I. ADLER
Elsevier Publishing Company - (1966).

3- Les rayons X et leurs applications
G.L. CLARK
Traduit Par
M. JORAND
Dunod - Paris - (1961)

4- Théorie et Technique de la radiocristallographie
A. GUINIER
Dunod - Paris - (1956).

5- Les rayons X et leurs applications
H. BRASSEUR
Desoer - Liège - (1945).

6- Understanding Light
B. TANNENBAUM and M. STILMAN
Fawcett Publications - New York (1968).

7- Introduction à la cristallographie et à la chimie structurale.

M. VAN MEERSSCHE
et J. FENEAU – DUPONT
Vander – Louvain (Belgique) 1973.

8- The Structure of matter
M. KARAPETYANTS and S. DRAKIN
Mir publishers – MOSCOW 1974.

9- La physique du metal
P. PEGUIN
Presse Universitaire de France (Que Sais Je?) 1970

10- Les rayons X
LOUIS ROUGEOT
Presse Universitaire de France (Que Sais Je? N° 79) 1974

11- La radiocristallographie
C. LEGRAND
Presse Universitaire de France (Que Sais Je? N° 1243) 1967

12- Fundamental principles of Alveolo – Dental radiology
J. A. POLLIA
Dental Items of Interest Pub. Co.
Brooklyn, New York

13- The crystalline state. (Vol. I)
L. BRAGG
G. Bell and Sons Ltd 1962

14- The Use of isotopes in pesticides and Pest Control.
Proc. of a symposium – Beirut – March 1974

15- Arab Dev. Journal For Sc. and Tech.
Vol. 1 march 1978

16- Al Mustansiriyah Journal of Sc.
Vol 1. Dec. 1976
Baghdad – Iraq.

Lexicon

Excitation	إثارة
Monochromatic	احادي طول الموجه
	احادي اللون
X rays	اشعة سينية
Cathode rays	اشعة مهبطية
Electron	الكترون
Tube	انبوب
Transition	انتقال
Refraction	انكسار
Diffraction	انعراج
Ion	ايون
Paramagnetism	بارامغنيطية
Optics	بصريات
single Crystal	بلور احادي
Polymer	بلمر
Focus	بؤرة
Function	تابع
Susceptibility	تأثرية
Brilliance	**تألق**
Ionization	**تأيين**
Induction	**تحريض**
Caogulation	**تخثر**
Interference	**تداخل**
Radiography	**تصوير بالاشعة**

Ineteraction	تفاعل
Symmetry	تناظر
Activation	تنشيط
Photoconductivity	توصيلية ضوئية
Superconductivity	توصيلية متفوقة
Alternating Current	تيار متردد
Trigonal	ثلاثي (نظام ثلاثي)
Triclinic	ثلاثي الميل
Molecule	جزيء
Induction	حث
Peak	حز (ذروة)
beam	حزمة
Diffraction	حيود
Cell	خلية
Unit Cell	خلية وحده
Circuit	داره
Function	دالة
Diamagnetism	ديامغنيطية
Atom	ذره
Tetragonal	رباعي (نظام رباعي)
Ionic bond	رباط ايوني
Covalent bond	رباط تساهمي
Spin	سبين
Hexagonal	سداسي (نظام سداسي)
Calory	سعر

Ion	شارد
Lattice	شبكة
Reciprocal lattice	شبكة عكسية
Semiconductor	شبه موصل
Intensity	شده
Chemical formula	صيغة كيميائية
Photo chemical	ضوكيميائي
Potential energy	طاقة الجهد (طاقة الكمون)
wavelength	طول الموجة
Spectrum	طيف
Atomic number	عدد ذري
orbital noment	عزم مداري
Magnetic moment	عزم مغناطيسي
Node	عقدة
Crystallography	علم البلوريات
Phospherescence	فسفرة
Anœmia	فقر دم
Fluorescence	فلورة
Photon	فوتون
Voltage	فولتيه
Index	قرينة
Iris	قزحية (العين)
Quartz	كوارتز
Electrostatic	كهرسكوني - كهراكدي
Electron	كهيرب

Vector	متجه
Microscope	مجهر
Transformer	محوّل
Quartz	مرو
Orthorhombic	مستقيم المعين (نظام)
Reticular plan	مسطح شبكي
Anode	مصعد
Coefficient	معامل
Magnet	مغناطيس ـ مغنط
Ferromagnetism	مغناطيسيه حديديه
Antiferromagnetism	مغناطيسيه حديديه مضادة
Helimagnetism	مغناطيسية لولبيه
Paramagnetism	مغناطيسية مسايره
Diamagnetism	مغناطيسية مغايرة
Rectifier	مقوم
Goniometer	مقياس الزوايا
Cubic	مكعب (نظام)
Prism	منشور
Cathode	مهبط
Equilibrium position	موضع اتزان
Semiconduetor	نصف موصل
Isotope	نظير
Induction Coil	وشيعة التحريض

المحتويات

صفحة